典型机床电气控制解析与PLC改造实例

朱朝宽　张勇　编著


机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

典型机床电气控制解析与PLC改造实例

朱朝宽　张勇　编著



机械工业出版社

本书分为两部分，第一部分内容以通用机床控制为主，选择了车床、钻床、磨床、镗床、铣床、齿轮加工机床、刨床、拉床等类型设备中比较典型的机床设备为对象，从设备的成形原理、结构特点、工艺特点出发，对设备的电气控制进行解析，并利用可编程序控制器（简称 PLC），结合变频技术对各个设备进行改造，在不改变控制要求的前提下，设计了 PLC 电气电路图和控制梯形图，对 PLC 的控制过程进行了分析说明。第二部分内容以组合机床为主，对自动化批量生产中具有代表性的钻锪组合机床、具有回转工作台的多工位组合机床、深孔钻削组合机床、双面铣削组合机床、精镗孔组合机床等，根据具体的控制要求，分别进行了继电器控制系统设计和 PLC 控制设计，并进行了详细说明。

本书从设备工作要求出发，较为详细地对机床设备进行解析和合理利用 PLC 技术进行改造，将机电一体化进行有机结合。本书适合于机床电气控制开发设计人员、设备维修与改造人员、机械工程类专业学生等使用。

图书在版编目（CIP）数据

典型机床电气控制解析与 PLC 改造实例/朱朝宽，张勇编著. —北京：机械工业出版社，2011.1（2011.10 重印）
ISBN 978-7-111-32609-0

Ⅰ.①典… Ⅱ.①朱…②张… Ⅲ.①机床—电气控制②可编程序控制器 Ⅳ.①TG502.35②TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 232507 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：周国萍　　责任编辑：周国萍
责任印制：乔　宇　　责任校对：陈延翔
封面设计：路恩中

北京汇林印务有限公司印刷
2011 年 10 月第 1 版第 2 次印刷
169mm×239mm · 18.25 印张 · 345 千字
3001—5000 册
标准书号：ISBN -978-7-111-32609-0
定价：36.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务　　策划编辑：（010）88379733
社服务中心：（010）88361066　　网络服务
销售一部：（010）68326294　　门户网：http://www.cmpbook.com
销售二部：（010）88379649　　教材网：http://www.cmpedu.com
读者购书热线：（010）88379203　　**封面无防伪标均为盗版**

前　　言

随着数控技术、PLC技术、变频技术的迅速发展，新的控制方法在机床上的应用越来越广泛，这些新技术不仅使设备控制更加稳定，加工精度得到提高，也能够简化机械结构和电气电路，为机床电气控制技术的持续发展提供良好的技术支持。学习PLC控制技术在机床中的应用方法和思路是机械工程类人才培养的一个重要内容。

本书从各类机械加工设备中选择具有代表性的机床进行电气控制解析，阐明各种机床的工艺特点、加工原理、结构特点与电气控制之间的关系，从控制要求出发来解析电气控制设计的逻辑思路，这有利于将机械与电气控制有机结合起来，能够从机械与电气控制两个方面来理解和分析机床设备。本书介绍专用的组合机床电气控制设计，有利于将机、电、液、气的控制结合起来，掌握自动循环控制的设计方法。在编写结构上，将机床的继电器控制和PLC改造放在一起，便于相互的理解。

本书的另一个重要内容是利用PLC和变频技术对各个设备进行改造。在尽量使用原有电气元件和保持控制内容不变的情况下，利用PLC进行电气电路的改造和控制程序的设计，能够简化电气电路，降低故障率，便于维护和维修；有利于理解PLC的工作方式、逻辑元件的含义和正确使用逻辑元件；有利于正确把握PLC的逻辑元件与控制对象之间的关系，能够从实际应用的角度掌握变频器使用和学习PLC在实际应用中的思路、方法以及编程技巧；对于推广PLC技术、变频技术在机械设备中的应用具有重要意义。

本书在编写过程中，强调PLC应用中一些容易出现错误的地方；强调逻辑元件的应用分析；强调在PLC中一些运用较少、理解比较困难的逻辑指令的使用技巧和含义解释；强调编程方法和PLC的电气特性对电气设计的影响；强调PLC控制设计与继电器控制设计中的不同点。对于改造其他的机床和非机床设备，特别是对专用机床的PLC控制设计，本书有重要的参考价值。

本书选材注重实用性，具有结构合理、新颖的特点。适合于机床电气控制开发设计人员、机床维修维护人员阅读参考，也可以作为机械工程类专业的实训教材和教学参考书。

在编写本书的过程中，编著者参考了大量的国内外资料，限于篇幅，没有一一列举，在此向有关作者表示衷心的感谢。同时由于编著者学识水平有限，书中疏漏之处，恳请有关专家和读者朋友批评指正。

朱朝宽

2010年8月

目　　录

前言

第1篇　典型通用机床电气控制系统

第1章　车床……1
1.1　C650卧式车床电气控制解析……1
1.1.1　C650的工艺特点与控制要求……1
1.1.2　C650电路控制分析说明……2
1.2　C650卧式车床电气控制PLC改造……6
1.2.1　C650改造说明与电路设计……6
1.2.2　C650程序设计与说明……8
1.3　CW61100E卧式车床电气控制解析……10
1.3.1　CW61100E的工艺特点与控制要求……10
1.3.2　CW61100E电路控制分析说明……10
1.4　CW61100E卧式车床电气控制PLC改造……13
1.4.1　CW61100E改造说明与电路设计……13
1.4.2　CW61100E程序设计与说明……15
1.5　C2132卧式多轴自动车床电气控制解析……17
1.5.1　C2132的工艺特点与控制要求……17
1.5.2　C2132电路控制分析说明……19
1.6　C2132卧式多轴自动车床电气控制PLC改造……24
1.6.1　C2132改造说明与电路设计……24
1.6.2　C2132程序设计与说明……26
1.7　C523立式车床电气控制解析……31
1.7.1　C523的工艺特点与控制要求……31
1.7.2　C523电路控制分析说明……32
1.8　C523立式车床电气控制PLC改造……38
1.8.1　C523改造说明与电路设计……38
1.8.2　C523程序设计与说明……43

第 2 章 钻床 …… 50
2.1 Z3040 摇臂钻床电气控制解析 …… 50
2.1.1 Z3040 的工艺特点与控制要求 …… 50
2.1.2 Z3040 电路控制分析说明 …… 51
2.2 Z3040 摇臂钻床电气控制 PLC 改造 …… 54
2.2.1 Z3040 改造说明与电路设计 …… 54
2.2.2 Z3040 程序设计与说明 …… 56
2.3 Z5163 立式钻床电气控制分析 …… 58
2.3.1 Z5163 的工艺特点与控制要求 …… 58
2.3.2 Z5163 电路控制分析说明 …… 60
2.4 Z5163 立式钻床电气控制 PLC 改造 …… 65
2.4.1 Z5163 改造说明与电路设计 …… 65
2.4.2 Z5163 程序设计与说明 …… 68
第 3 章 磨床 …… 74
3.1 M1432A 万能外圆磨床电气控制解析 …… 74
3.1.1 M1432A 的工艺特点与控制要求 …… 74
3.1.2 M1432A 电路控制分析说明 …… 75
3.2 M1432A 万能外圆磨床电气控制 PLC 改造 …… 79
3.2.1 M1432A 改造说明与电路设计 …… 79
3.2.2 M1432A 程序设计与说明 …… 81
3.3 M7130 电气控制解析 …… 83
3.3.1 M7130 的工艺特点与控制要求 …… 83
3.3.2 M7130 电路控制分析说明 …… 84
3.4 M7130 电气控制 PLC 改造 …… 88
3.4.1 M7130 改造说明与电路设计 …… 88
3.4.2 M7130 程序设计与说明 …… 90
第 4 章 镗床 …… 93
4.1 T68 卧式镗床的电气控制解析 …… 93
4.1.1 T68 的工艺特点与控制要求 …… 93
4.1.2 T68 电路控制分析说明 …… 94
4.2 T68 卧式镗床的电气控制 PLC 改造 …… 98
4.2.1 T68 改造说明与电路设计 …… 98
4.2.2 T68 的 PLC 程序设计与说明 …… 100
4.3 T4240B 立式双柱坐标镗床电气控制解析 …… 104

4.3.1　T4240B 的工艺特点与控制要求 …… 104
4.3.2　T4240B 电路控制分析说明 …… 106
4.4　T4240B 立式双柱坐标镗床的电气控制 PLC 改造 …… 110
4.4.1　T4240B 改造说明与电路设计 …… 110
4.4.2　T4240B 程序设计与说明 …… 112
4.5　T611H 移动卧式镗床电气控制分析 …… 116
4.5.1　T611H 的工艺特点与控制要求 …… 116
4.5.2　T611H 电路控制分析说明 …… 117
4.6　T611H 移动卧式镗床电气控制 PLC 改造 …… 122
4.6.1　T611H 改造说明与电路设计 …… 122
4.6.2　T611H 程序设计与说明 …… 124
第 5 章　铣床 …… 128
5.1　X62W 电气控制解析 …… 128
5.1.1　X62W 的工艺特点与控制要求 …… 128
5.1.2　X62W 电路控制分析说明 …… 128
5.2　X62W 电气控制 PLC 改造 …… 134
5.2.1　X62W 改造说明与电路设计 …… 134
5.2.2　X62W 程序设计与说明 …… 136
第 6 章　齿轮加工机床 …… 139
6.1　YM3150E 滚齿机电气控制解析 …… 139
6.1.1　YM3150E 的工艺特点与控制要求 …… 139
6.1.2　YM3150E 电路控制分析说明 …… 140
6.2　YM3150E 滚齿机电气控制 PLC 改造 …… 144
6.2.1　YM3150E 改造说明与电路设计 …… 144
6.2.2　YM3150E 程序设计与说明 …… 146
6.3　YB6016 半自动花键铣床电气控制解析 …… 147
6.3.1　YB6016 的工艺特点与控制要求 …… 147
6.3.2　YB6016 电路控制分析说明 …… 148
6.4　YB6016 半自动花键铣床电气控制 PLC 改造 …… 152
6.4.1　YB6016 改造说明与电路设计 …… 152
6.4.2　YB6016 程序设计与说明 …… 154
第 7 章　刨床 …… 156
7.1　B2012A 龙门刨床电气控制解析 …… 156
7.1.1　B2012A 的工艺特点与控制要求 …… 156

7.1.2 B2012A 拖动分析 …… 156
7.1.3 B2012A 电路控制分析说明 …… 158
7.2 B2012A 龙门刨床电气控制 PLC 改造 …… 170
7.2.1 变频器的选择与说明 …… 170
7.2.2 B2012A 改造说明与电路设计 …… 171
7.2.3 B2012A 程序设计与说明 …… 175
第 8 章 拉床 …… 183
8.1 L710 电气控制解析 …… 183
8.1.1 L710 的工艺特点与控制要求 …… 183
8.1.2 L710 电路控制分析说明 …… 183
8.2 L710 电气控制 PLC 改造 …… 187
8.2.1 L710 改造说明与电路设计 …… 187
8.2.2 L710 程序设计与说明 …… 189

第 2 篇 专用机床的电气控制系统设计

第 9 章 多工位回转工作台组合机床控制系统 …… 193
9.1 多工位组合机床的继电器-接触器控制设计 …… 193
9.1.1 多工位回转工作台组合机床的工艺特点 …… 193
9.1.2 多工位回转工作台组合机床液压系统说明 …… 194
9.1.3 电路控制设计与说明 …… 196
9.2 多工位组合机床的 PLC 控制设计 …… 203
9.2.1 PLC 的电路设计 …… 203
9.2.2 PLC 控制程序设计与说明 …… 206
第 10 章 钻锪组合机床控制系统 …… 211
10.1 钻锪组合机床的继电器控制设计 …… 211
10.1.1 钻锪组合机床的工艺特点 …… 211
10.1.2 二次进给组合机床的液压系统说明 …… 212
10.1.3 电路控制设计与说明 …… 214
10.2 钻锪组合机床的 PLC 控制设计 …… 217
10.2.1 PLC 的电路设计 …… 217
10.2.2 PLC 控制程序设计与说明 …… 219
第 11 章 深孔钻削组合机床控制系统 …… 222
11.1 深孔钻削组合机床的继电器—接触器控制设计 …… 222
11.1.1 深孔钻削组合机床继电器—接触器的工艺特点 …… 222

11.1.2 深孔钻削组合机床的传动系统说明 …… 224
11.1.3 电路控制设计与说明 …… 225
11.2 深孔钻削组合机床的PLC控制设计 …… 233
11.2.1 PLC的电路设计 …… 233
11.2.2 PLC控制程序设计与说明 …… 235
第12章 双面铣削组合机床控制系统设计 …… 241
12.1 双面铣削组合机床的继电器控制设计 …… 241
12.1.1 双面铣削组合机床的特点 …… 241
12.1.2 双面铣削组合机床的液压系统说明 …… 242
12.1.3 电路控制设计与说明 …… 244
12.2 双面铣削组合机床的PLC控制设计 …… 249
12.2.1 PLC的电路设计 …… 249
12.2.2 PLC控制程序设计与说明 …… 251
第13章 精镗孔组合机床控制系统 …… 258
13.1 精镗孔组合机床的继电器控制系统设计 …… 258
13.1.1 精镗孔组合机床的工艺特点 …… 258
13.1.2 精镗孔组合机床的液压系统设计说明 …… 261
13.1.3 电路控制设计与说明 …… 264
13.2 精镗孔组合机床的PLC控制设计 …… 270
13.2.1 PLC的电路设计 …… 273
13.2.2 PLC控制程序设计与说明 …… 274
参考文献 …… 284

第 1 篇　典型通用机床电气控制系统

第 1 章　车　　床

1.1　C650 卧式车床电气控制解析

1.1.1　C650 的工艺特点与控制要求

1. 卧式车床电气控制系统分析

在金属切削机床中，卧式车床是机械加工中应用最广泛的一种机床，它能完成多种多样的加工工序。卧式车床的工艺特征为对各种回转体类零件进行加工，如各种轴类、套类和盘类零件，可以车削出内外圆柱面、圆锥面及成形回转面、各种常用螺纹及端面等；其运动特征为主轴带动工件旋转，形成切削主运动，刀架移动形成进给运动，刀架的进给运动由主电动机提供动力，刀架的快速运动由快速电动机提供，操作形式为点动。不同型号的卧式车床加工零件的尺寸范围不同，拖动电动机的工作要求不同，因而控制电路也不尽相同。总体上看，由于卧式车床运动形式简单，常采用机械调速的方法，因此相应的控制电路不复杂。在主轴正、反转和制动的控制方面，有电气控制和机械控制。

2. 电力拖动及控制要求分析

一般卧式车床配置三台三相笼型异步电动机，分别为提供工作进给动力和主运动的主电动机 M1、驱动冷却泵供液的电动机 M2 和驱动刀架快速移动的电动机 M3。电动机的控制要求分述如下：

（1）主电动机控制要求

卧式车床的主电动机 M1 完成主轴运动和进给运动的拖动。主轴与刀架运动要求电动机能够直接起动，同时还要求能够正、反转，并可对正、反两个方向进行制动停车控制；为了加工和调整的方便，需要具有点动功能；为了提高加工效率，主轴的转动需要进行制动。

（2）冷却泵电动机控制要求

冷却泵电动机 M2 在加工时带动冷却泵工作，提供切削液，可以直接起动，并且为连续工作状态。

(3) 快速移动电动机控制要求

快速移动电动机 M3 用于拖动溜板箱带动刀架快速移动,在工作过程中以点动工作方式进行,需要根据使用情况随时手动控制起停。

1.1.2　C650 电路控制分析说明

卧式车床 C650 的电气控制系统电路图如图 1-1 所示。图示所用的电气元件符号与功能说明见表 1-1。下面分析其工作过程。

1. 主电路分析

车床的电源采用三相 380V 交流电源,由隔离开关 QS 引入,主电路中包含三台电动机的驱动电路。主电动机 M1 的电路接线分为三部分:第一部分为交流接触器 KM1、KM2 的主触点,分别控制主电动机 M1 的正转和反转;第二部分为交流接触器 KM3 的主触点,控制限流电阻 R 的接入与切除,在主轴点动调整时,R 的串入可限制起动电流;第三部分为用来监视主电动机 M1 绕组电流的电流表 A,由于 M1 功率大,所以电流表 A 接入电流互感器 TA 回路。机床工作时,可调整

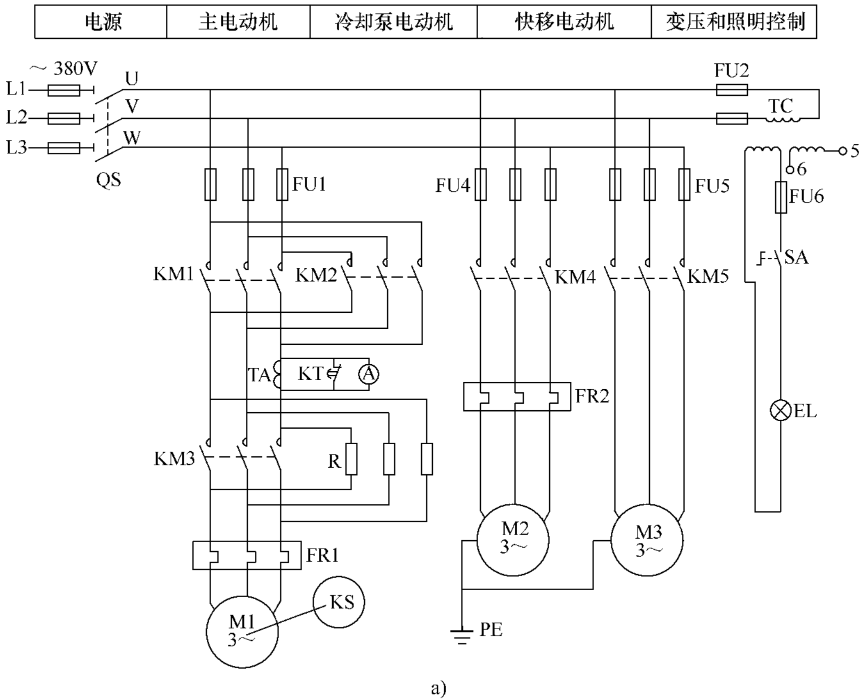


图 1-1　卧式车床 C650 的电气控制系统电路图

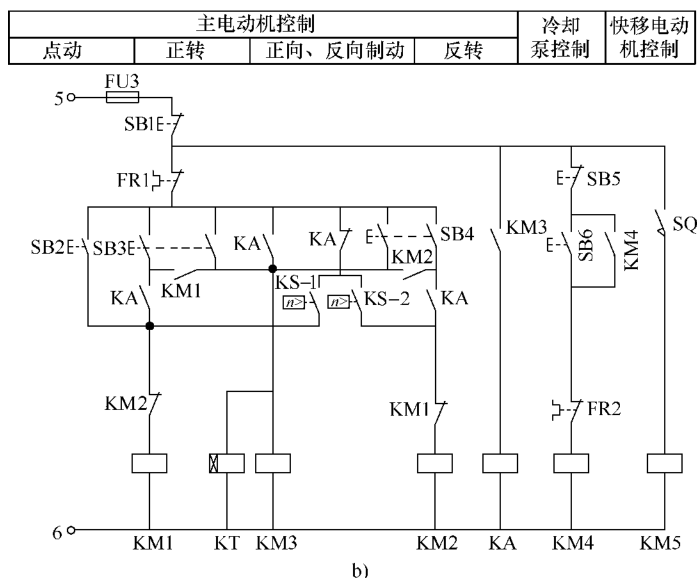


图 1-1 卧式车床 C650 的电气控制系统电路图(续)

切削用量,使电流表 A 的电流接近主电动机 M1 额定电流对应值(经 TA 后减小了的电流值),以便提高生产效率和充分利用电动机的潜力。为了防止电流表在主电动机起动时大电流对它造成冲击损坏,在电路中设置了通电延时时间继电器 KT 进行保护,当主电动机正向或反向起动时,KT 线圈通电,当延时时间未到时,电流表 A 被 KT 延时动断触点短接,无电流通过,只有当延时结束后,KT 的延时断开的常闭触点断开才会有电流通过。速度继电器 KS 的速度检测部分与电动机的输出轴相连,以实现正、反转的反接制动。

冷却泵电动机 M2 的起动与停止由接触器 KM4 的主触点控制,快速移动电动机 M3 则由接触器 KM5 控制。

为保证主电路的正常运行,分别有熔断器 FU1、FU4、FU5 对电动机 M1、M2、M3 实现短路保护;由热继电器 FR1、FR2 对 M1 和 M2 进行过载保护;快速移动电动机 M3 由于工作时间短,所以不需要过载保护。

2. 控制电路分析

由于控制电路电气元件较多,因此采用控制变压器 TC 与三相电网进行电隔离,以提高操作和维修时的安全性,控制电路所需的 110V 交流电源由控制变压器

表1-1　C650卧式车床电气元件表

符　号	名称及用途	符　号	名称及用途
M1	主电动机	SB1	总停按钮
M2	冷却泵电动机	SB2	主电动机正向点动按钮
M3	快速移动电动机	SB3	主电动机正转按钮
KM1	主电动机正转接触器	SB4	主电动机反转按钮
KM2	主电动机反转接触器	SB5	冷却泵电动机停止按钮
KM3	短接限流电阻接触器	SB6	冷却泵电动机起动按钮
KM4	冷却泵起动接触器	TC	控制变压器
KM5	快速电动机起动接触器	FU1～FU6	熔断器
KA	中间继电器	FR1	主电动机过载保护热继电器
KT	通电延时时间继电器	FR2	冷却泵过载保护热继电器
SQ	快速移动点动行程开关	R	限流电阻
SA	转换开关	EL	照明灯
KS	速度继电器	TA	电流互感器
A	电流表	QS	隔离开关

TC提供，采用FU3做短路保护。控制电路可划分为主电动机M1、冷却泵电动机M2以及快速移动电动机M3的三个局部控制电路。根据控制要求，下面对各局部控制电路逐一进行分析。

（1）主电动机的起动与正、反转控制电路

C650车床主轴的正、反转是通过主电动机的正、反转来实现的。主电动机M1的额定功率为30kW，但车削加工时消耗功率较大，而起动时负载很小，因此起动电流并不大，在非频繁点动的一般工作时，仍可采用全压直接起动，工作控制过程如下：

当按下主电动机正转按钮SB3时，短接限流电阻的接触器KM3线圈和通电延时时间继电器KT线圈同时得电。KT得电，其位于M1主电路中的延时动断触点短接电流表A在延时断开后，电流表接入电路正常工作，从而使其免受起动电流的冲击。KM3通电，其主触点闭合，短接限流电阻R，辅助动合触点闭合，使得KA线圈得电。KA动断触点断开，分断反接制动电路。KA动合触点闭合，一方面使得KM3在SB3松开后仍然保持通电，进而KA也保持通电；另一方面使得

KM1 线圈通电并形成自锁，KM1 主触点闭合，此时主电动机 M1 正向直接起动。

SB4 为主电动机反转按钮，反向直接起动过程与正向类似，不再叙述。

（2）主电动机的点动调整控制

点动调整控制时，按下主电动机正向点动按钮 SB2，主电动机正转接触器 KM1 线圈通电，其主触点闭合，由于 KM3 线圈并没接通，因此电流必须经限流电阻 R 进入主电动机，从而减少了起动电流，此时电动机 M1 正向直接起动。KM3 线圈未得电，其辅助动合触点不闭合，中间继电器 KA 不工作，虽然 KM1 的辅助动合触点已闭合，但不自锁。因而松开 SB2 后，KM1 线圈立即断电，主电动机 M1 停转。这样就实现了主电动机的点动控制。

（3）主电动机的反接制动控制

C650 车床停车时采用反接制动方式，用速度继电器 KS 进行速度检测和控制。下面以正转状态下的反接制动为例说明电路的工作过程。

当主电动机 M1 正转运行时，由速度继电器工作原理可知，此时 KS 的动合触点 KS-2 闭合。当按下总停按钮 SB1 后，原来通电的 KM1、KM3、KT 和 KA 线圈全部断电，它们的所有触点均被释放而复位。当松开 SB1 后，由于主电动机的惯性速度仍很大，KS 的动合触点 KS-2 继续保持闭合状态，KA 动断触点复位闭合使主电动机反转接触器 KM2 线圈通电。其电流通路是：SB1 动断触点⟶FR1 动断触点⟶KA 动断触点⟶KS-2 动合触点——KM1 动断触点——KM2 线圈。这样主电动机 M1 主电路反接，反向电磁转矩将平衡正向惯性转动转矩，电动机正向转速很快就降下来，当速度降低到较低数值时，KS-2 动合触点断开，从而切断了 KM2 线圈的电路，正向反接制动结束。

反转时的反接制动过程与上述过程类似，只是在此过程中起作用的为速度继电器的 KS-1 动合触点。

在反接过程中，由于 KM3 线圈没有得电，因此限流电阻 R 被接入主电动机电路，以限制反接制动电流。

通过对主电动机控制电路的分析，可看到中间继电器 KA 在电路中一方面拓展短接限流电阻的接触器 KM3 触点，另一方面在制动控制电路中起着电子开关的作用。

（4）冷却泵电动机的控制

冷却泵电动机 M2 的控制为典型的直接起动控制电路环节，电路中起停按钮分别为 SB6 和 SB5，由它们控制接触器 KM4 线圈的得电与断电，从而实现对冷却泵电动机 M2 的长动控制。

(5) 刀架的快速移动

刀架的快速移动是通过操作控制手柄压动行程开关 SQ,使其动合触点闭合,控制接触器 KM5 线圈通电,KM5 主触点闭合,快速移动电动机 M3 起动运转,其输出动力经传动系统最终驱动溜板箱带动刀架作快速的移动。当控制手柄复位时,KM5 断电,M3 停止转动,控制电路为典型的无自锁结构的点动控制。

此外,控制变压器 TC 的二次侧还有一路电压为 36V,给车床提供照明。当转换开关 SA 闭合时,照明灯 EL 点亮;转换开关 SA 断开时,EL 熄灭。

1.2 C650 卧式车床电气控制 PLC 改造

1.2.1 C650 改造说明与电路设计

利用可编程序控制器进行改造,首先考虑保证原有控制功能不变,并尽量保留原来的电气元件,不添加新的元件。根据 C650 的工作过程和已有继电器控制的电气参数,选择 FX2N 可编程序控制器进行改造。输出端口采用继电器输出方式,接触器、时间继电器线圈与 PLC 的输出端口连接,提供给输出端口的电压为 110V,与这些负载线圈的额定电压一致。各个按钮、行程开关、速度继电器触点、热继电器触点与 PLC 的输入端口连接,由输入端口将信号传入 PLC 中。输入端口的元件不需要单独提供电源,其信号电源由 PLC 内部提供。在改造中,主要采用了以下几点措施:

1) 将硬件上有互锁关系的输出元件,如接触器 KM1 和 KM2,与输出端口连接就实现互锁,这是 FX 系列 PLC 的要求。

2) 将热继电器常闭触点,速度继电器的正、反向触点与输入端口连接。直接将触点状态传入 PLC 中。

3) 时间继电器的线圈直接与 PLC 输出端口连接,没有采用 PLC 中的定时器,有利于简化控制。

4) 原来的中间继电器 KA 用辅助继电器代替,不占输出端口。

5) 反接制动采用辅助继电器 M2、M3 来记载当前的旋转方向,以便制动时反接控制。

6) 热继电器触点与输入端口连接时,如果用其常闭触点,PLC 控制回路中无须取反。

结合输入、输出总点数,选用 FX2N—32MR 能够满足要求。改造后的电气原理图如图 1-2 所示,元件分配情况见表 1-2。



a)


b)

图 1-2　PLC 改造 C650 车床的电气原理图

表 1-2　PLC端口分配表

电气元件	作　　用	逻辑元件	电气元件	作　　用	逻辑元件
SB1	总停按钮	X0	KS-1	速度继电器正转触点	X11
SB2	主电动机点动	X1	KS-2	速度继电器反转触点	X12
SB3	主电动机正转	X2	KM1	主电动机正转接触器	Y0
SB4	主电动机反转控制	X3	KM2	主电动机反转接触器	Y1
SB5	冷却泵起动控制	X4	KM3	短接限流接触器	Y2
SB6	冷却泵停止控制	X5	KM4	冷却泵接触器	Y3
FR1	热继电器触点	X6	KM5	快进电动机接触器	Y4
FR2	热继电器触点	X7	KA1	中间继电器	M0
SQ	快进行程开关	X10	KT	电流表延时接通继电器	Y5

1.2.2　C650程序设计与说明

根据C650的控制要求和继电器—接触器的控制逻辑，结合PLC的端口分配，设计的PLC控制程序如图1-3所示。

1. 点动调整

按下按钮SB2，X1为ON，使输出继电器Y0线圈的逻辑回路导通，驱动接触器KM1得电，主电动机M1正转电路接通，电动机转动。由于在梯形图中Y0回路没有自锁，所以电动机只能作正转点动控制。

2. 正、反转起动

按下正转起动按钮SB3，X2为ON，输出继电器Y2线圈的逻辑回路导通自锁，驱动负载接触器KM3线圈得电，主电路中的限流电阻R被短接，输出继电器线圈Y5为ON，时间继电器线圈得电，计时开始，电流表电路被短接。经过一定时间后，时间继电器延时触点断开，电流表A开始监测主轴电动机的电流。同时，Y2驱动辅助继电器M1得电并自锁，输出继电器线圈Y0逻辑回路导通，驱动负载接触器KM1线圈得电，主电路闭合，电动机正转起动。

当按下反转按钮SB4时，输入继电器X3为ON，首先驱动输出继电器Y2线圈的逻辑回路导通，输出继电器Y5线圈得电并自锁，然后使Y1为ON，驱动接触器KM2、KM3得电并自锁，主电路反接起动，电动机反转。

3. 制动停止

假设电动机在正转，当主轴电动机正向旋转速度达到120 r/min时，则速度继电器的正转触点KS-2闭合，输出继电器X11为ON，为主轴电动机正向旋转反向制动做好准备。当按下停止按钮SB1后，输入继电器X0为ON，取反后为OFF，使输出继电器Y1、Y2、Y0线圈回路断开，当松开按钮SB1后，X0为OFF，取反为

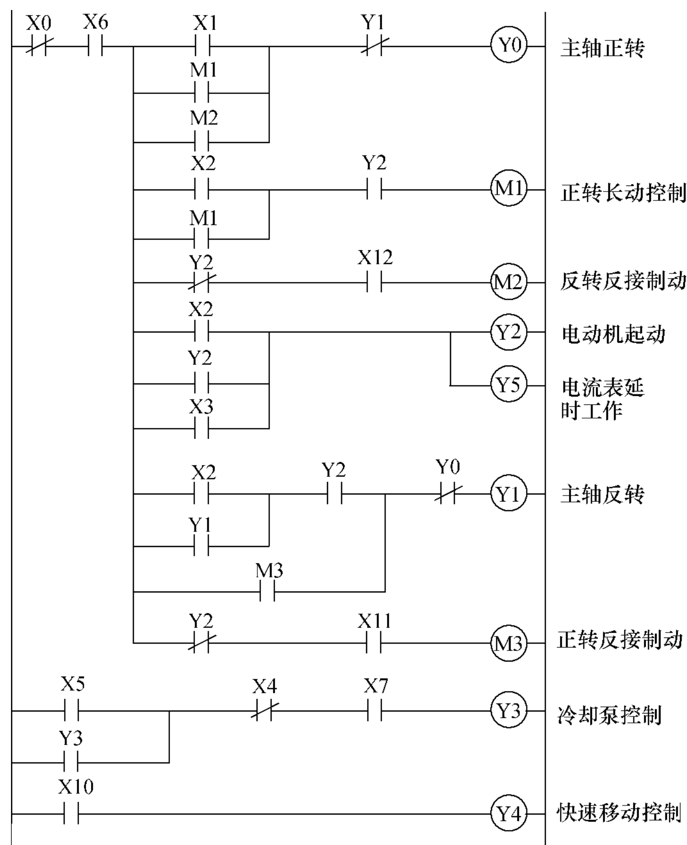


图1-3　PLC控制C650的梯形图

ON,由于Y2为OFF,取反为ON,所以辅助继电器M3得电为ON,其常开触点闭合,驱动输出继电器Y1线圈得电,KM2得电,主电路反接,产生制动转矩,电动机转速降低,当降低到一定速度后,KS-1触点断开,输入继电器X11断电,辅助继电器M3变为OFF,输出继电器Y1、接触器KM2断电,达到制动控制的目的。

4. 快速运动控制

按下快速运动按钮,使行程开关SQ闭合,输入继电器X10得电,驱动输出继电器Y4线圈得电,快速电动机起动接触器KM5得电,接通快进电动机主电路。

5. 冷却泵电动机控制

按下按钮SB6,输出继电器X5为ON,输出继电器Y3回路得电并自锁,驱动冷却泵起动接触器KM4得电,冷却泵主电路接通。当按下停止按钮SB5时,输入继电器X4为ON,驱动Y3为OFF,冷却泵主电路断开。

1.3 CW61100E 卧式车床电气控制解析

1.3.1 CW61100E 的工艺特点与控制要求

1. 工艺特点

CW61100E 主要车削大回转直径的轴类零件，能够车削端面、外圆、内孔、锥面及公制螺纹、英制螺纹、模数螺纹、径节螺纹，还可以完成钻孔、套料和车孔等加工，是一种加工效率高、操作性好、工艺范围广的卧式车床。最大工件回转直径达 ϕ1000mm，刀架上最大工件回转直径为 ϕ650mm，最大工件长度为 1500～14000mm，主轴转速级数为 24 级，最高转速为 400r/min，具有高速、低速、中速挡，以实现不同的转速范围，最大进给量达到 12mm/r，最大公制螺纹的螺距可以达到 120mm，最大模数螺纹模数达到 60mm，刀架的快速移动速度最高达到 3750mm/min，所以主电动机的功率较大，能达到 22kW。

2. 控制要求

1）主轴需要正、反转。正、反转主要由电磁机构变换来完成，而没有采用电动机的正、反转控制或者双向离合器来完成。所以主电动机起动后，通过正、反转电磁离合器来驱动主轴转动。

2）主电动机制动不采用电动机制动方式，而是利用制动离合器完成。

3）由于设备较大，需要实现多点控制，包括多点起动和多点停止。

4）快速运动依然采用点动控制，由控制按钮和机械离合器组合完成。

5）主电动机和冷却泵电动机需要过载保护。

6）电气控制柜门关上以后才能正常起动主电动机。如果电气控制柜门没有关上，则不能起动电动机。

1.3.2 CW61100E 电路控制分析说明

1. 主电路控制

主电路控制有四台电动机，M1 为主电动机，M2 为冷却泵电动机，M3 为液压泵电动机，M4 为快速电动机。机床刀架的快速移动由快速电动机通过点动方式控制。由于冷却泵和液压泵电动机的功率较小，直接用开关控制。主电动机和快速电动机分别用接触器 KM2 和 KM1 控制。电动机 M1、M2 有过载保护功能。对应的电气原理图如图 1-4 所示，电气元件的名称及用途见表 1-3。

主电动机	冷却泵电动机	液压泵电动机	快速电动机	变压器照明	电源指示灯与门开关	快速电动机控制	主电动机控制	主轴正转	主轴反转	正反转电磁铁	制动电磁铁

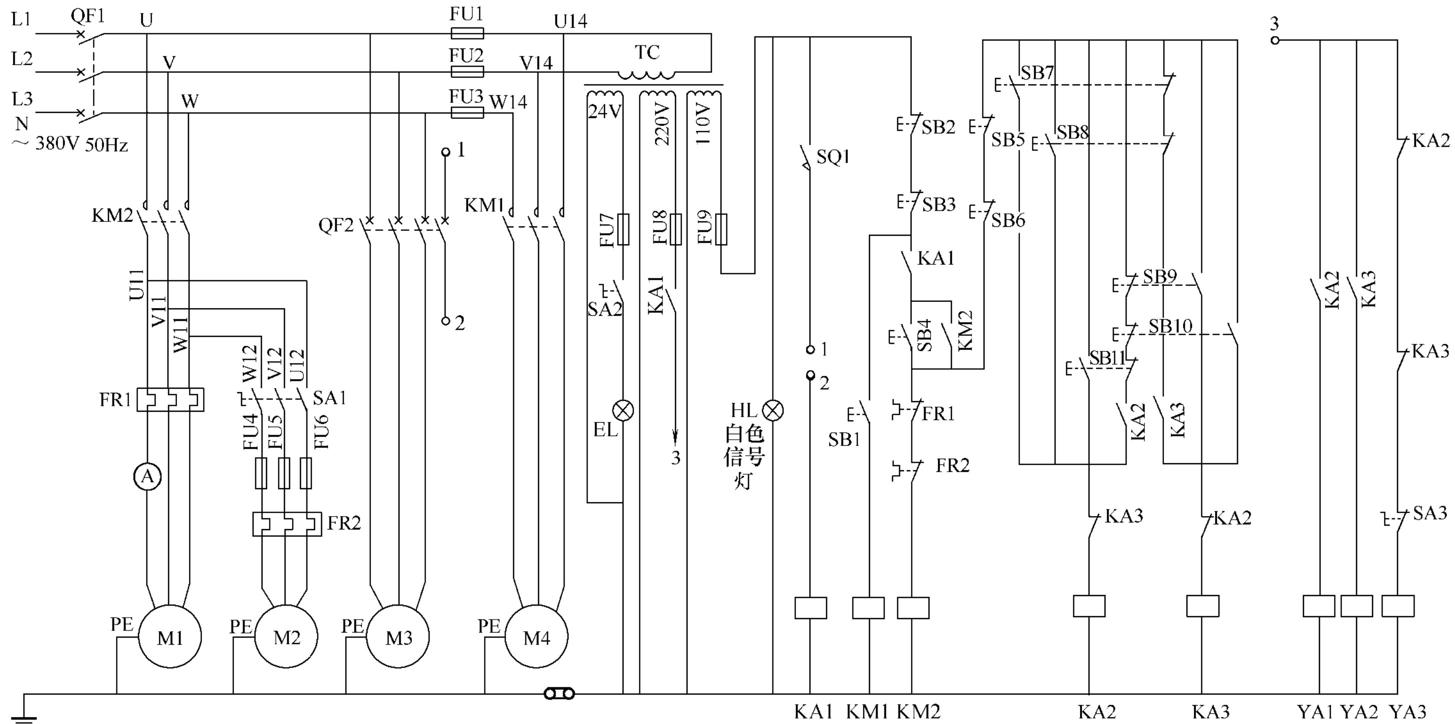


图 1-4 CW61100E 卧式车床电气原理图

表 1-3 CW61100E 卧式车床电气元件表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	主电动机	SQ1	门开关行程开关
M2	冷却泵电动机	KA1	门开关控制中间继电器
M3	液压泵电动机	SB2、SB3	主电动机停止按钮
M4	快速电动机	SB4	主电动机起动按钮
KM1、KM2	M1、M4 控制接触器	SB5、SB6	正、反转运动停止按钮
FR1、FR2	热继电器	SB7、SB8	主轴正转运动控制按钮
TC	变压器	SB9、SB10	主轴反转运动控制按钮
QF1、QF2	低压断路器	SB11	主轴点动调整按钮
KA2、KA3	正、反转控制中间继电器	FU1～FU9	熔断器
YA1、YA2	正、反转电磁离合器	SA1	冷却泵控制开关
YA3	制动器电磁铁	SB1	快速电动机起动按钮
SA2	照明灯开关	—	—

2. 控制电路

控制变压器经过变压后形成24V、110V、220V三种电压，其中24V电压为照明灯提供电源，继电器控制部分需要的电源电压为110V，电磁铁需要的电源电压为220V。

照明灯开关SA2闭合，照明灯EL亮。在液压泵电动机控制用低压断路器QF2闭合的情况下，电气柜门闭合后会压动行程开关SQ1，中间继电器KA1线圈得电闭合，然后才能操作机床。如果电气柜门没有关好，则KA1线圈不能得电，后面的接触器和电磁铁都不能得电。

（1）快速电动机控制

操作快速运动手柄时，按下装在手柄上的按钮SB1，并搬动手柄，使对应方向上的离合器接合，则接触器KM1线圈得电，主触点闭合，快速电动机运转，并通过传动机构带动刀架作快速移动。

（2）主电动机运动控制

主电动机通过传动机构带动主轴旋转。由于电动机只能单向转动，所以主轴的正、反转是通过离合器YA1、YA2来改变传动机构的传动链，实现主轴正、反转的运动控制。

在门开关闭合、中间继电器KA1线圈得电的情况下，按下起动按钮SB4，接触器KM2线圈得电并自锁，主触点闭合，主电动机起动，按钮SB2和SB3为多点停止按钮，按下任何一个，接触器KM2线圈都会断电。在主电动机起动的情况下，主轴并不一定会转动。如果需要主轴正转，则按下按钮SB7或SB8(多点起动按

钮),中间继电器 KA2 线圈得电并自锁,其常开触点闭合,驱动电磁铁线圈 YA1 闭合,正转离合器工作,接通正转运动传动链,主轴正转;当按下按钮 SB9 或 SB10 时,首先断开中间继电器 KA1 线圈,使 YA1 断电,切断正转运动传动链,构成互锁关系。同时,中间继电器 KA2 线圈得电并自锁,常开触点闭合,使电磁铁 YA2 得电,反转离合器工作,接通主运动反转传动链,主轴反转。在主轴正转或反转时,中间继电器 KA2 或 KA3 得电,其常闭触点断开,使得制动电磁铁 YA3 断电,制动离合器分开。

按下停止按钮 SB5 或 SB6,中间继电器 KA2、KA3 断电,切断离合器 YA1、YA2 电源,主运动传动链分开,同时使得制动器电磁铁 YA3 断电,制动器电磁铁在弹簧的作用下闭合,对主轴起制动作用。

按下按钮 SB11,接通中间继电器 KA1,但又切断了自锁,所以 KA1 不能自锁,主轴点动正转,主要用于对主轴的调整。

1.4　CW61100E 卧式车床电气控制 PLC 改造

1.4.1　CW61100E 改造说明与电路设计

根据 CW61100E 的工作过程和已有继电器控制的电气参数,选择 FX1N 可编程序控制器进行改造。首先考虑保证原有控制功能不变,尽量保留原来的电气元件,不添加新的元件。主电路不变,PLC 电源电压为交流 220V,接触器线圈负载电源为交流 110V,电磁铁线圈电源选择 220V,输出端口采用继电器输出方式,结合输入、输出总点数,选用 FX1N—40MR 能够满足要求。改造中,主要采用了以下几点措施:

1) 为了减少输入、输出点数,在改造时,将过载保护的热继电器触点直接接到 KM2 线圈回路中。当电动机过载,使得 FR1 或 FR2 动作,则 FR1 或 FR2 常闭触点断开,KM2 线圈不再得电,从而保护了电动机,所以不使用输入继电器;将热继电器常闭触点,速度继电器的正、反向触点与输入端口连接。直接将触点状态传入 PLC 中。

2) 中间继电器 KA1、KA2、KA3 分别用辅助继电器 M0、M1、M2 代替,也不占输出端口,利用程序来解决它们在逻辑上的作用。

3) 由于电磁铁为感性负载,对 PLC 的输出端口影响较大,若长期使用则容易导致端口元件损坏,所以对于正、反转控制电磁铁和制动电磁铁不直接与 PLC 的端口连接,在满足控制逻辑关系的前提下,由中间继电器 KA1、KA2、KA3 来控制。

4) 原控制电路中的中间继电器所代表的控制信息,用辅助继电器来代替。

改造后的电气原理图如图 1-5 所示,元件分配情况见表 1-4。

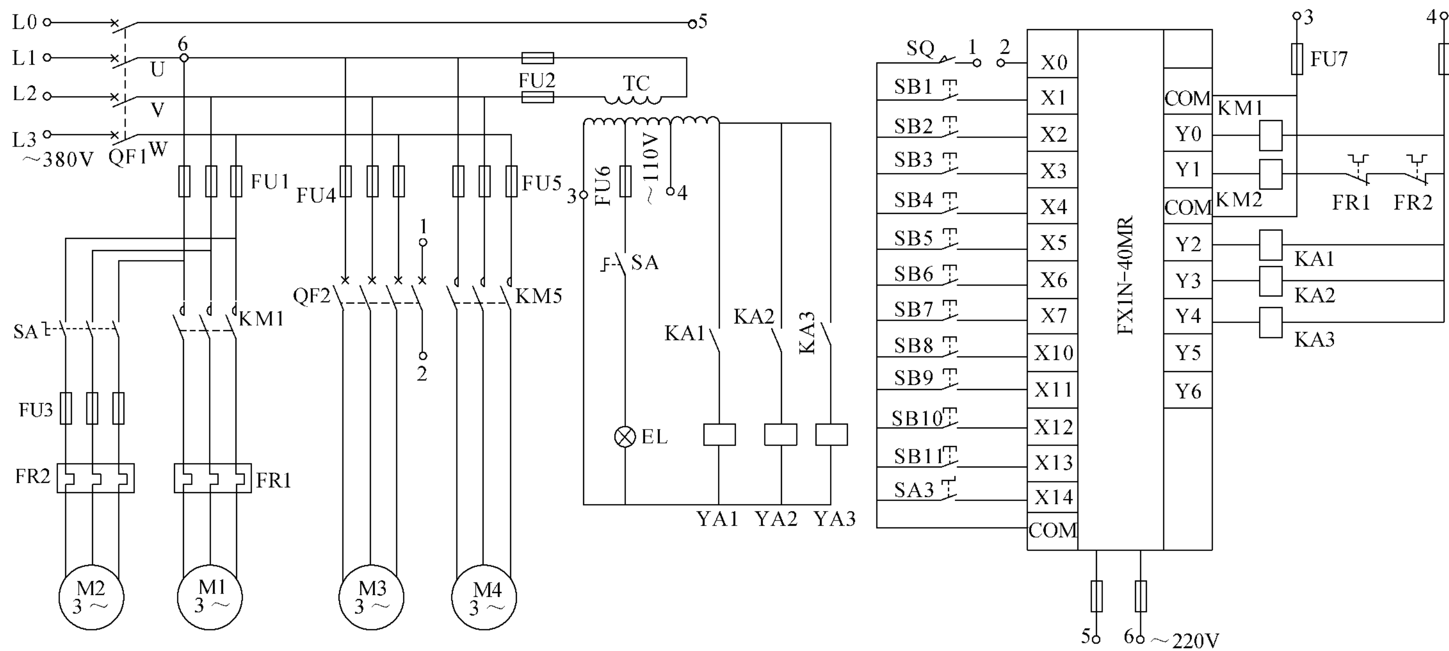


图 1-5 CW61100E 卧式车床 PLC 改造后的电气原理图

表 1-4　PLC 端口分配表

电气元件	作　　用	逻辑元件	电气元件	作　　用	逻辑元件
SQ	门开关	X0	SB11	主轴点动调整按钮	X13
SB1	快速电动机起动按钮	X1	SA3	制动控制转换开关	X14
SB2	主电动机停止按钮	X2	KM1	快速电动机接触器	Y0
SB3	主电动机停止按钮	X3	KM2	主电动机接触器	Y1
SB4	主电动机起动按钮	X4	KA1	控制电磁离合器 YA1	Y2
SB5	正、反转运动停止按钮	X5	KA2	控制电磁离合器 YA2	Y3
SB6	正、反转运动停止按钮	X6	KA3	控制制动器电磁铁 YA3	Y4
SB7	主轴正转控制按钮	X7	KA1(改造前)	门开关中间继电器	M0
SB8	主轴正转控制按钮	X10	KA2(改造前)	正转控制中间继电器	M1
SB9	主轴反转控制按钮	X11	KA3(改造前)	反转控制中间继电器	M2
SB10	主轴反转控制按钮	X12	—	—	—

1.4.2　CW61100E 程序设计与说明

根据继电器控制原理图的逻辑关系,在满足使用要求的情况下进行改造。得到的梯形图如图 1-6 所示。

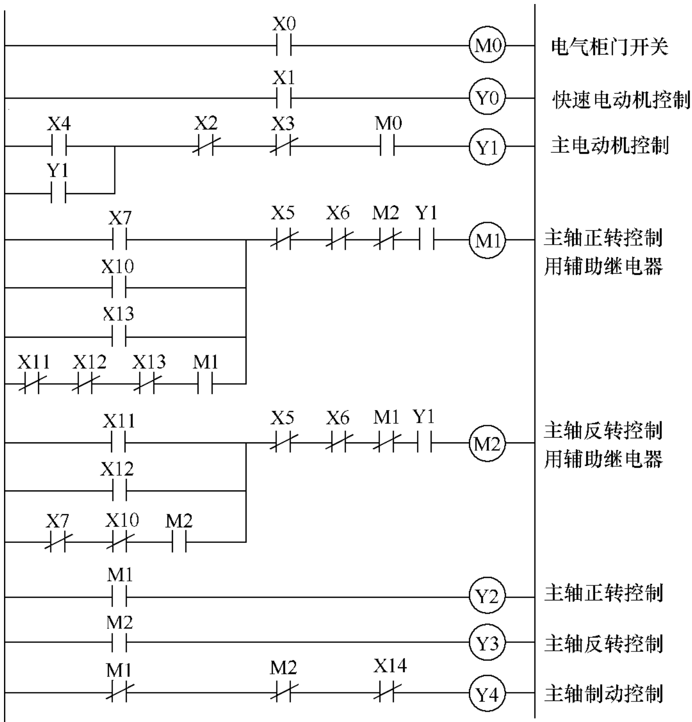


图 1-6　PLC 控制 CW61100E 的梯形图

1. 快速电动机的控制

当按下按钮SB1时,输入继电器X1为ON,经过梯形图Y0线圈回路的逻辑运算,使输出继电器Y0为ON,驱动接触器KM1回路闭合,接触器线圈得电,接通快进电动机电路,电动机转动,通过传动机构带动刀架快速运动,但由于Y0线圈回路没有自锁,所以电动机只能进行点动,当松开按钮SB1后,Y0断电,接触器KM1断电,使得快进电动机停止。

2. 主运动控制

主电动机的正、反转运动控制都采用多点起动和多点停止的控制方式,并且正、反向运动不是通过控制电动机正、反转来实现的,而是通过改变传动链中的离合器来实现运动的换向。

只有先关好电器柜门以后,压下行程开关SQ,使M0线圈回路得电,为起动主电动机做好准备。当按下起动按钮SB4后,输入继电器X4为ON,输出继电器Y1的线圈回路为ON并自锁。接触器KM2线圈回路闭合,线圈得电,其主触点闭合,主电动机绕组得电转动。为主轴正、反转运动控制做好了准备,主轴是否转动,则由其他按钮的工作状态决定。

若主轴正向转动,则按下SB7或SB8,输入继电器X7或X10为ON,驱动辅助继电器M1线圈回路为ON并自锁。在M1回路中的X5、X6是停止按钮,M2触点互锁。当M1线圈为ON,驱动输出继电器Y2线圈为ON,负载中间继电器KA1线圈得电,常开触点闭合,接通正向转动电磁铁YA1的电路,电磁离合器闭合接通正向运动传动链,主轴正转。

若主轴反向转动,则按下SB9或SB10,输入继电器X11或X12为ON,驱动辅助继电器M2线圈回路为ON并自锁。在M2回路中的X5、X6是停止按钮,M1触点互锁。当M2线圈为ON,驱动输出继电器Y3线圈为ON,负载中间继电器KA2线圈得电,常开触点闭合,接通反向电磁离合器YA2的电路,电磁离合器闭合接通反向运动传动链,主轴反转。

当按下按钮SB11时,输入继电器X13得电为ON,辅助继电器M1线圈回路为ON;同时由于X13取反触点串接在自锁触点M1前,使M1线圈不能自锁,正向转动只能作点动,主要用于调整。

当按下按钮SB5、SB6时,M1和M2线圈回路被切断置为OFF,输出继电器Y2、Y3断电,对应的电磁离合器线圈断电,在弹簧作用下分开,传动机构不能接通;同时接通输出继电器线圈Y4,负载中间继电器KA3线圈得电,常开触点闭合,使制动器电磁铁YA3线圈回路闭合得电,电磁离合器闭合,抱紧传动轴实现制动。

3. 液压泵电动机和冷却泵电动机

电动机M2和M3的控制不变,由于工作电流比较小,仍然采用在主电路中直接用组合开关或低压断路器控制,无需再用PLC来控制。

1.5　C2132 卧式多轴自动车床电气控制解析

1.5.1　C2132 的工艺特点与控制要求

1. C2132 多轴自动车床的工艺特点

自动或半自动机床能够按照预先制定好的加工程序，自动地完成零件的加工过程。切削运动和辅助运动全部自动化，并能一再重复自动工作循环的机床，称为自动机床；能够自动完成一次工作循环，但工人必须进行工件的装卸，并重新起动机床才能开始下一个工作循环的机床称为半自动机床。与自动化的电气控制不同的是，自动或半自动车床的自动工作过程的控制通常是采用机械式的凸轮、挡块来实现机械控制，工作稳定可靠，但加工零件变化时，需要另行设计和制造凸轮，并且机床调整时间长，适合于大批量生产。

C2132 属于卧式多轴棒料多刀自动车床，是一种高效的自动化车床，有四轴、六轴和八轴三种。适合加工大批量生产的棒料、轴类和盘类零件。多轴卧式自动车床继承了多轴自动车床的多工位、多刀、多刃加工和高效率的特点，可加工最大直径 32mm、长度 180mm 的棒料。机床的前刀架和后刀架各装有与主轴数目相同的刀具，前后刀架依次对夹持在主轴上的坯料进行切削加工，每个工作循环可以加工与主轴数目相同的工件，生产效率高。比较适合于在大批量生产条件下，加工几何形状简单的轴、套类工件，机床可进行简单外圆、成形、切槽、倒角及切断工作，布置如图 1-7 所示。

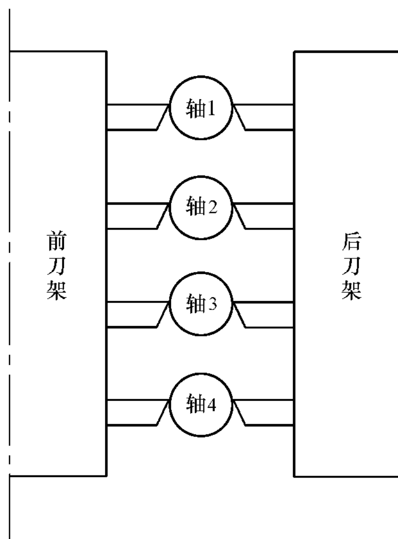


图 1-7　C2132 四轴车床布置图

作为生产效率高的多轴棒料自动车床，具有如下特点：

（1）自动送料

实现自动工作循环，在每一个零件加工完毕以后，自动传送棒料，为下一个零件加工送出一定长度的坯料，是一个重要的控制内容。一般情况下，主轴内有送料弹簧夹头和夹料弹簧夹头，通过主轴箱内的送料机构和夹料机构，可以将冷拔棒料送出和夹紧。具体过程如下：

1）棒料松开。当工件加工完毕，切断刀切下工件，送夹料机构开始动作，使夹料夹头张开，完成松开棒料的动作。

2）送料。棒料被松开后，送料机构推动棒料向右移动一定距离，使棒料向主轴前端送出一定的长度，完成送料动作。送料长度可以根据加工零件的需要进行调整。

3）夹紧棒料。送料完毕后，夹料使压紧套向夹料夹头头部移动，压紧套的内锥面压紧夹料夹头的外锥面，使夹料夹头将棒料夹紧。

4）送料夹紧复位。棒料夹紧后，送料机构带动送料夹头复位，为送料做好准备。机床接着便开始对下一个工件进行加工。

（2）自动循环加工

上述刀架的工作循环全部由凸轮、挡块及杠杆系统来实现。在加工过程中，这些刀架可以单独也可以同时对工件进行加工。机床的自动工作循环大致如下：主轴箱内的送、夹料机构完成坯料的送出和夹紧后复位，接着工件在主电动机带动下随主轴一起转动，刀具在分配轴电动机带动下作快速进给，然后工作进给，各个刀具分别切削加工对应的部位；待切削加工终了或接近终了时，切断刀快速接近工件，继而转换成切断工件，其他刀具在分配轴带动下快速退回。每加工一个工件，机床完成一个自动工作循环。在一个自动工作循环中，机床还有自动变换主轴旋转方向等工作过程。

（3）分配轴是自动控制的关键

多轴棒料自动机床的主轴转动和刀具进给是两个相对独立的运动，不存在传动比的内联系，两个运动是由两个电动机带动，但实现刀具的自动进给和高效率的加工过程，分配轴是关键结构。C2132 上有多根分配轴，分配轴上的凸轮推动杠杆和中间传动机构运动，从而带动刀架的自动进给。分配轴控制送料机构、主轴换向、定转离合器等，它是一个机械控制结构，主要由定时轮、定转离合器以及控制刀架运动行程的凸轮构成。刀架的进给过程、进给距离、进给速度都是由凸轮的形状结构来控制，不同的零件加工，进给行程不同，需要在进行批量生产前设计、计算、制造、安装凸轮，以控制刀架的行程。分配轴转动一周，刀架完成一个快进、工进、

快退的自动加工循环。定时轮和定时离合器就是保证每次循环分配轴转动一周，一些辅助运动与之协调，循环结束时停留在需要的位置上。

(4) 需要运屑器自动输送切屑

运屑器也称排屑器，主要用于收集和输送各种卷状、团状、块状切屑，以及铜屑、铝屑、不锈钢屑、炭块、尼龙等材料，广泛应用于各类数控机床、加工中心、组合机床和柔性生产线，起到改善操作环境，减轻劳动强度，提高整机自动化程度的作用。

2. 控制要求

根据 C2132 的特点，其主要控制要求如下：

1) 其无料预停装置可以实现在无工件的情况下停止主运动和进给运动。

2) 主电动机需要进行多点起停控制。

3) 运屑器的反转运动只需要点动控制。

4) 冷却泵和运屑器的功率、额定电流比较小，可以考虑采用中间继电器控制。

5) 送料机构在送料过程中，主轴应该停止。送料机构送出工件，并夹紧后才能转动。

6) 送料机构自动向主轴送料，料完自动停车报警。

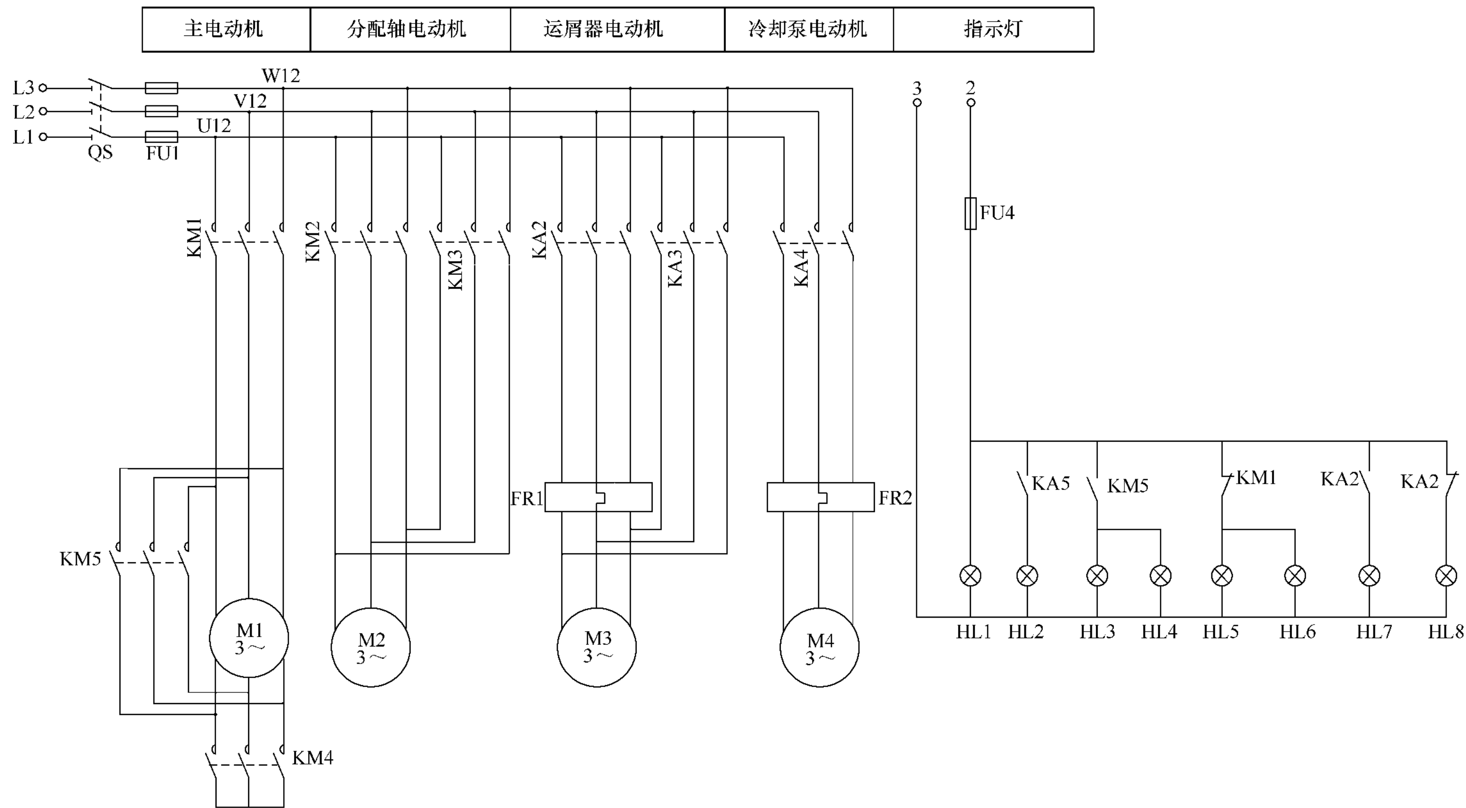
7) 主电动机采用星形—三角形减压起动控制，控制方式为手动。

1.5.2 C2132 电路控制分析说明

1. 主电路

C2132 卧式多轴自动车床是机械式凸轮分配轴控制的自动机床，机械部分结构复杂，电气控制相对简单，共配置了四台电动机，其中 M1 为主电动机，M2 为分配轴电动机，M3 为运屑器电动机，M4 为冷却泵电动机。接触器 KM1、KM4 构成星形联结控制，接触器 KM1、KM5 构成三角形联结控制；分配轴电动机的正、反转控制由接触器 KM2、KM3 来完成；运屑器的电动机功率较小，采用中间继电器来控制电动机的起停，中间继电器 KA2 控制电动机正转，KA3 控制反转；冷却泵也由于功率比较小，采用中间继电器 KA4 来控制主电路。

C2132 电气控制原理图如图 1-8 所示，电路中的主要低压电气元件见表 1-5。


主电动机
分配轴电动机
运屑器电动机
冷却泵电动机
指示灯
L3
L2
L1
QS
FU1
W12
V12
U12
KM1
KM2
KM3
KA2
KA3
KA4
KM5
KM4
FR1
FR2
M1
3～
M2
3～
M3
3～
M4
3～
3
2
FU4
KA5
KM5
KM1
KA2
KA2
HL1
HL2
HL3
HL4
HL5
HL6
HL7
HL8

a)

变压器	照明电路	主电动机星形-三角形联结控制	分配轴 正转控制	分配轴 反转控制	运屑器 正转控制	运屑器 反转控制	冷却泵 控制	无料预停

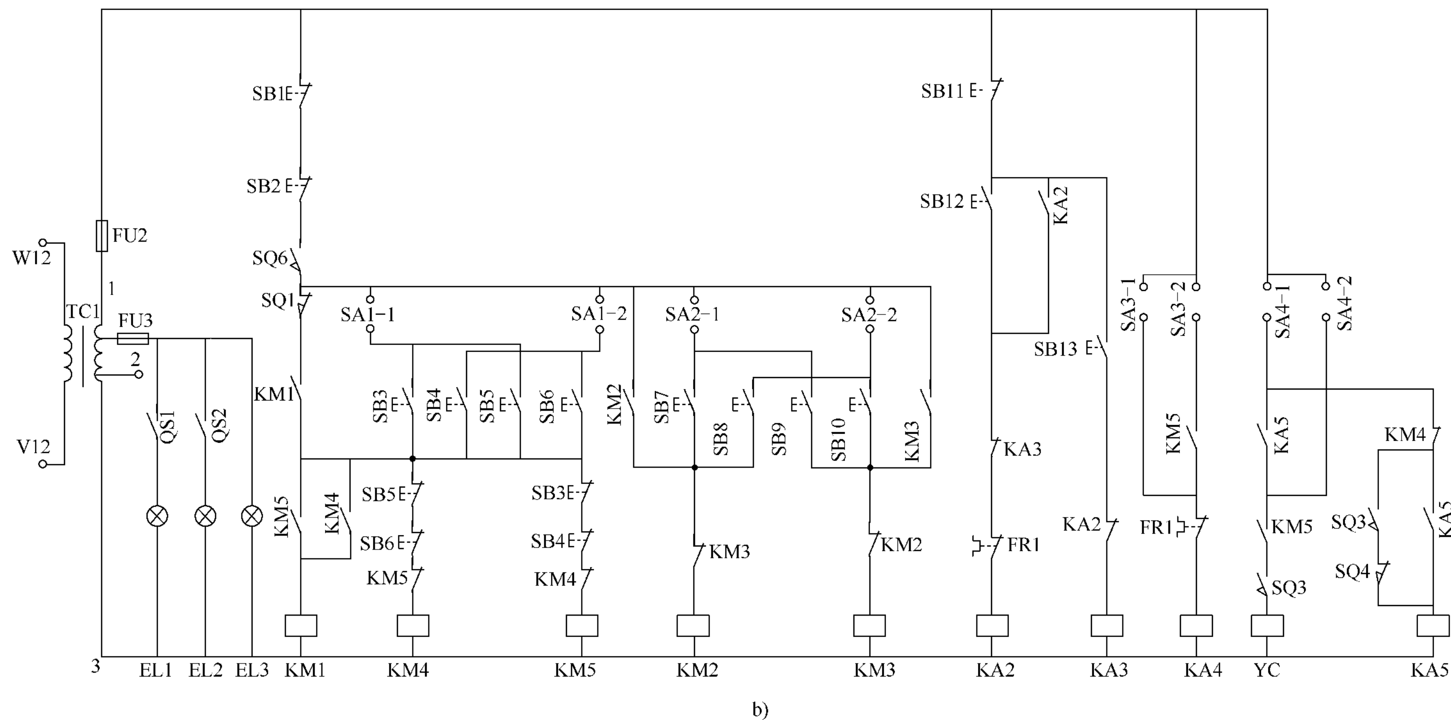


图1-8　C2132 电气控制原理图

a) 主电路　b) 控制电路

表 1-5 C2132 低压电气元件表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	主电动机	SB11、SB12	运屑器起停控制按钮
M2	分配轴电动机	SB13	运屑器点动控制按钮
M3	运屑器电动机	SA1～SA4	转换开关
M4	冷却泵电动机	SQ1	送料机构无料行程开关
KM1	主电动机控制接触器	SQ3	工件夹紧用行程开关
KM2	分配轴正转控制接触器	SQ4	主轴无料伸出行程开关
KM3	分配轴反转控制接触器	SQ6	刀架位置用行程开关
KM4	主电动机星形联结控制接触器	EL1～EL3	控制箱照明灯
KM5	三角形联结控制接触器	TC1	变压器
KA2	运屑器正转控制中间继电器	FR1～FR2	热继电器
KA3	运屑器反转控制中间继电器	HL1～HL8	指示灯
SB1、SB2	主电动机多点停止按钮	QS1	隔离开关
SB3、SB4	主电动机星形联结起动按钮	FU1～FU4	熔断器
SB5、SB6	主电动机三角形联结起动按钮	KA4	冷却泵控制中间继电器
SB7、SB8	分配轴正转多点起动按钮	KA5	无料预停控制中间继电器
SB9、SB10	分配轴反转多点起动按钮	YC	电磁离合器

2. 控制电路

(1) 主电动机的控制

当刀架位置调整到位，行程开关 SQ6 的常开触点闭合；由于在送料机构中还有棒料，送料机构不能压到微动行程开关 SQ1，所以 SQ1 常闭触点闭合，并且转换开关 SA1 转换到前面位置，SA1-1 闭合，则位置在机床前面的两个起动按钮 SB3、SB5 有效，先按下起动按钮 SB3，则接触器 KM4 线圈得电，其主触点闭合，同时 KM4 的辅助常开触点也闭合，接通了接触器 KM1 的线圈电路并自锁，此时电动机 M1 绕组星形联结以低电压起动。

当电动机 M1 的转动速度提高到一定程度后，再按下起动按钮 SB5，SB5 的常闭触点首先切断 KM4 的线圈电路，然后接通接触器 KM5 的线圈电路并自锁，此时接触器 KM1 和 KM5 线圈得电，电动机 M1 绕组三角形联结，以较高的电压工作。

若将转换开关 SA1 转换到后面的位置，则 SA1-2 闭合，在机床后面位置的按钮 SB4 和 SB6 则分别控制星形联结起动和三角形联结运转，起动过程应该是先按 SB4 再按 SB6，从而实现减压起动控制。

当机床工作结束以后，按下按钮 SB1 或 SB2，接触器 KM1、KM5、KM4 线圈断

电，控制电动机 M1 停止转动。

（2）分配轴的控制

分配轴的转动由分配轴电动机控制，将转换开关 SA2 转换到后面位置，则 SA2-1 闭合，此时按下按钮 SB7 ，则接触器 KM2 的线圈得电并自锁，分配轴正转，控制送料机构送料、夹紧和自动复位；然后带动刀架作自动快进、工进和快退；加工结束，分配轴还控制切断刀切断工件，然后退回停止，等待送料机构送料，完成一次自动循环。C2132 的分配轴有多根，都由一个电动机带动，按照一定的关系由机械结构协调工作。整个循环过程中电动机 M1、M2 一直工作，自动送料、自动循环加工，不断重复进行，以较高的自动化和较高的生产效率进行生产。

若将 SA2-2 闭合，按下按钮 SB8，接触器 KM2 线圈得电自锁，实现多点控制。

分配轴的反转控制与正转控制类似，当 SA2-1 闭合时，按下按钮 SB9，则接触器 KM3 得电并自锁，M2 电动机主电路反接转动；当 SA2-2 闭合时，按下按钮 SB10，KM3 线圈也能接通自锁，实现 M2 的反转控制。

（3）无料预停

在循环加工过程中，当主轴前端没有坯料或有坯料没有夹紧时，主轴和分配轴都不能转动，否则容易造成刀具的损坏或者工件伸出长度不准确，所以需要设置无料预停控制。

无料预停控制分为调整控制和循环自动控制两种方式，SA4-1 闭合时为自动循环控制方式，SA4-2 闭合时为调整控制方式。当 SA4-2 闭合时，工件夹紧，SQ3 行程开关压下闭合，电磁离合器 YC 线圈得电，接通分配轴和主轴的传动链，加工循环开始，主要是检查各个机构的运动是否协调，刀具的进给位置是否能够满足加工需要。

当 SA4-1 闭合时，电动机 M1 绕组按照三角形联结正常转动以后，接触器 KM5 的辅助常开触点闭合，KM4 的辅助常闭触点也闭合，则当棒料毛坯从主轴中空部分伸出，弹簧套运动，使弹簧夹头夹紧工件，此时行程开关 SQ3 的常开触点闭合，行程开关 SQ4 的常闭触点闭合，中间继电器 KA5 线圈得电并自锁，电磁离合器 YC 得电并自锁，分配轴和主轴的传动链接通，循环加工继续，如无坯料伸出或伸出后没有夹紧，则中间继电器 KA5 不能接通，电磁离合器 YC 不能接通，主轴和刀架都不能运动。

（4）运屑器的正、反转控制

当按下按钮 SB12，中间继电器 KA2 线圈得电并自锁，接通电动机 M3 的主电路，电动机 M3 正转，运屑器工作，自动将从工件掉下来的大量切屑带到垃圾箱中。

按下按钮 SB13，接通中间继电器 KA3 线圈，电动机 M3 反转。由于运屑器电动机 M3 不需要长期反转，只需要点动控制即可，主要是在传送带被卡住时使用。

按下按钮 SB11 可以切断中间继电器 KA2 的线圈电路，运屑器电动机 M3 停止。

（5）冷却泵的控制

冷却泵的控制有两种方式：一种为单独起动控制；另一种为与主电动机的连动控制。当 SA3-1 闭合时，中间继电器 KA4 线圈电路接通，冷却泵电动机 M4 主电路接通，M4 起动，为切削加工提供切削液。如果 SA3-2 闭合，则需要在接触器 KM5 接通、主电动机正常工作时，中间继电器 KA4 线圈才能接通，冷却泵才能得电工作，一旦加工结束，冷却泵立即停止。

1.6 C2132 卧式多轴自动车床电气控制 PLC 改造

1.6.1 C2132 改造说明与电路设计

根据 C2132 的工作过程、控制要求、工艺特点，选择 FX2N 可编程序控制器进行改造可以满足要求。首先考虑保证原有控制功能不变，尽量保留原来的电气元件，不添加新的元件；主电路不变，控制电动机的接触器和中间继电器的线圈通过 PLC 输出端口来控制，各个按钮、行程开关和转换开关与 PLC 的输入端口连接，由输入端口将信号传入 PLC 中。改造中，主要采用了以下几点措施：

1）将硬件上有互锁关系的输出元件，如 KM4 与 KM5，与输出端口连接就实现互锁，光靠程序来互锁是不安全的。

2）为了节约输入端口，热继电器元件直接连接在输出端口中需要控制的元件电路中，所有有两个位置的转换开关只占用一个输入端口。

3）电磁离合器 YC 是一个典型的感性负载，功率较大（相对其他继电器元件），容易对输出端口造成较大的冲击，影响 PLC 的寿命，所以不直接与 PLC 输出端口连接，通过中间继电器 KA5 来控制。

4）原来的中间继电器 KA5 不直接控制主电路，用辅助继电器来代替，减少了对输出端口的占用。

5）在有多余输出端口的情况下，指示灯与 PLC 输出端相连，由 PLC 来控制，但需要单独占用一个公共端，因为其电源电压一般比较低，不能与接触器线圈、中间继电器线圈用同一电源。

6）所有输入元件都只连接其常开触点，以免程序编写时发生混淆。

输出端口采用继电器输出方式，结合输入、输出总点数，选用 FX2N—48MR 能够满足要求。改造后的电气原理图如图 1-9 所示，元件分配情况见表 1-6。

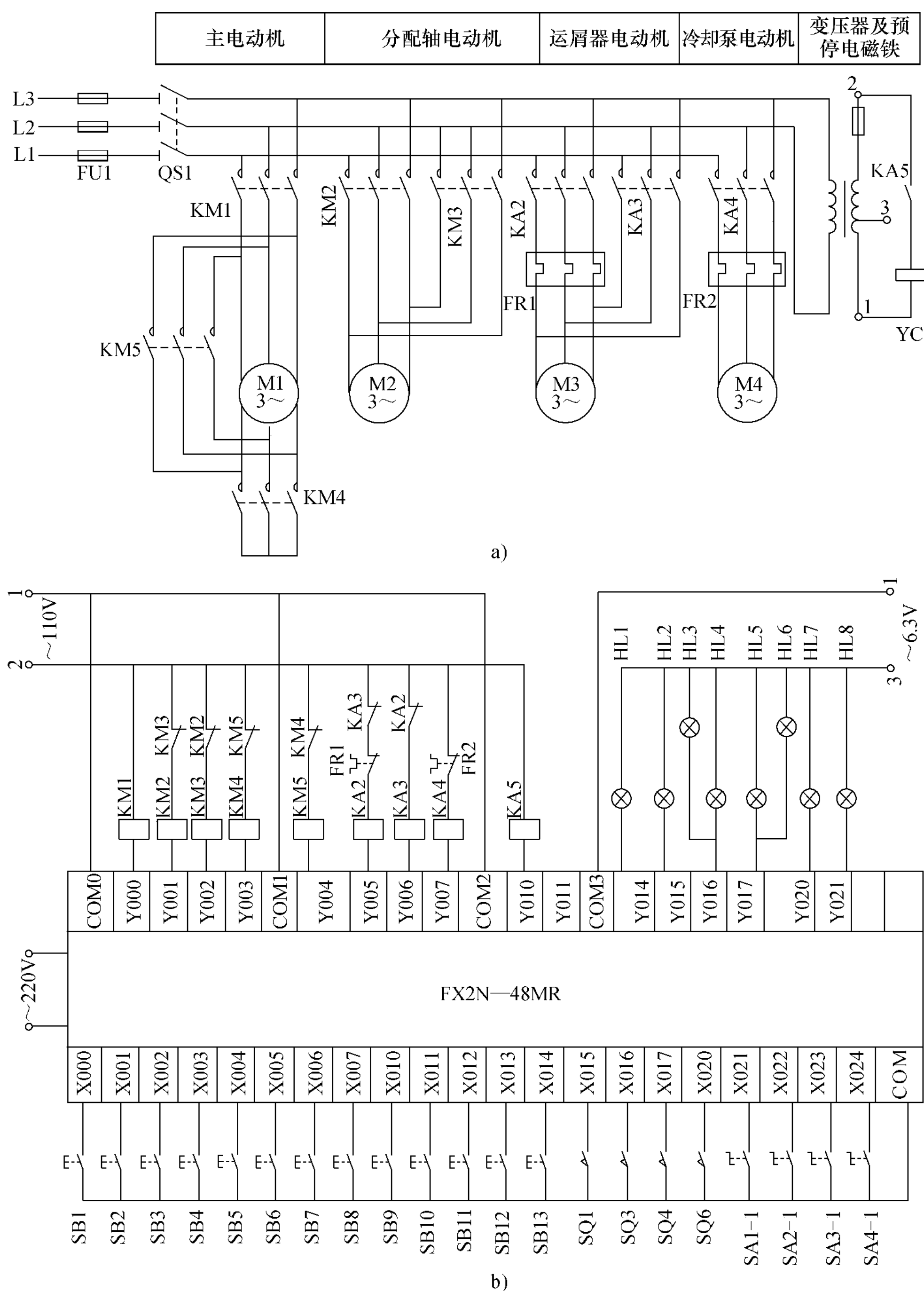


图 1-9　C2132 卧式多轴自动车床 PLC 改造后的电气原理图

a）主电路　b）PLC 连接电路

表1-6　PLC逻辑元件分配表

电气元件	作　　用	逻辑元件	电气元件	作　　用	逻辑元件
SB1	总停按钮	X0	SQ6	刀架位置行程开关	X20
SB2	总停按钮	X1	SA1-1	主电动机控制用转换开关	X21
SB3	控制主电动机Y联结按钮	X2	SA2-1	分配轴电动机转换开关	X22
SB4	控制主电动机Y联结按钮	X3	SA3-1	运屑器调节转换开关	X23
SB5	控制主电动机△联结按钮	X4	SA4-1	进料循环转换开关	X24
SB6	控制主电动机△联结按钮	X5	KM1	主电动机接触器	Y0
SB7	控制分配轴正转按钮	X6	KM2	分配轴正转接触器	Y1
SB8	控制分配轴正转按钮	X7	KM3	分配轴反转接触器	Y2
SB9	控制分配轴反转按钮	X10	KM4	主电动机Y联结接触器	Y3
SB10	控制分配轴反转按钮	X 11	KM5	主电动机△联结接触器	Y4
SB11	运屑器停止按钮	X12	KA2	中间继电器	Y5
SB12	运屑器起动正转按钮	X13	KA3	中间继电器	Y6
SB13	运屑器反转点动按钮	X14	KA4	中间继电器	Y7
SQ1	送料机构无料	X15	KA5	中间继电器	Y10
SQ3	工件夹紧用行程开关	X16	YC	电磁离合器	KA5
SQ4	主轴无料伸出	X17	HL1～HL8	指示灯	Y11～Y20

1.6.2　C2132程序设计与说明

由于主电动机和分配轴电动机在控制上具有共同的控制逻辑，在起停上有联系，根据控制要求，采用主控指令来控制Y0、Y1、Y2、Y3、Y4，当行程开关SQ6闭合，X20为ON，且没有按下停止按钮SB1、SB2，则X0、X1为OFF，其常闭按钮为ON时，执行MC后的控制程序，如果按下停止按钮或SQ6断开，则不执行MC后的控制程序，直接执行MCR后面的程序，此时MC控制部分的元件状态按照如下情况变化：

1）累积定时器和计数器、利用SET和RST驱动的逻辑元件等元件的状态保持不变。

2）非累积定时器和计数器、利用OUT驱动的元件状态变为断开。

由于本例中的主控部分均为OUT驱动，所以一旦主控条件不满足，则其中的输出继电器均变为断开，切断Y0、Y1、Y2、Y3、Y4的逻辑回路，主电动机M1和分配轴电动机M2均停止，能够满足控制要求。其控制程序如图1-10所示。

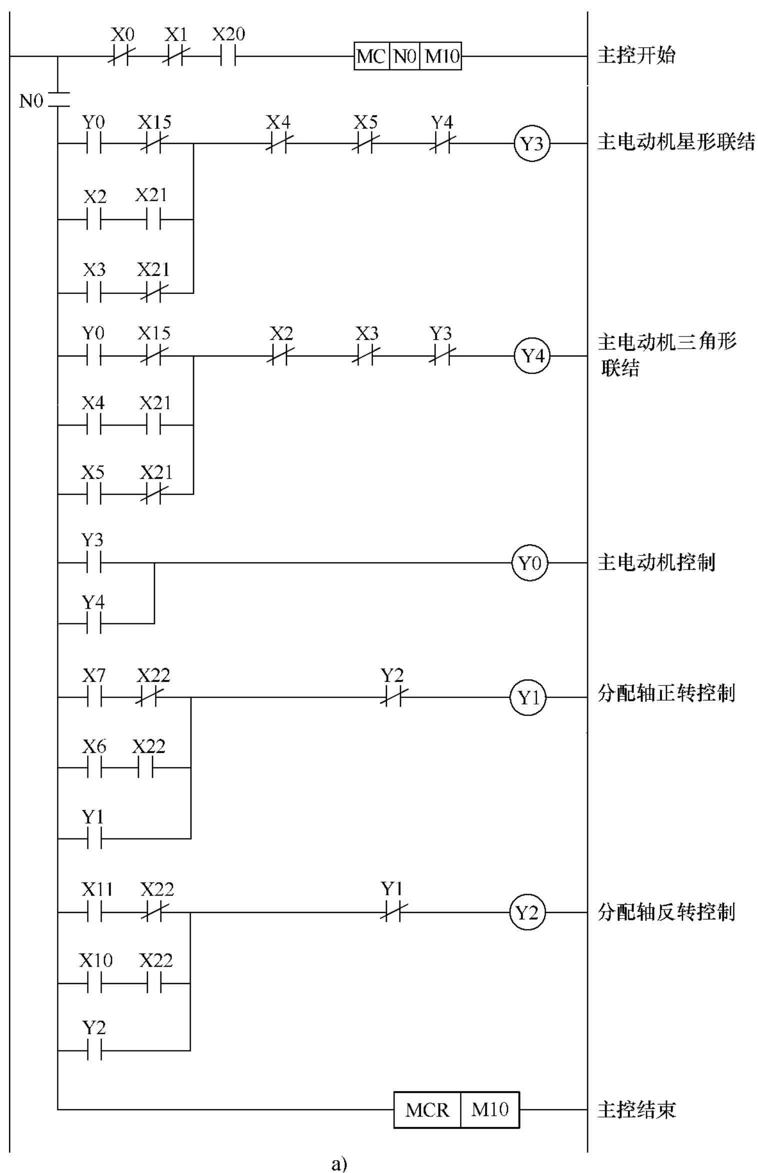


图 1-10　C2132 的 PLC 控制程序梯形图

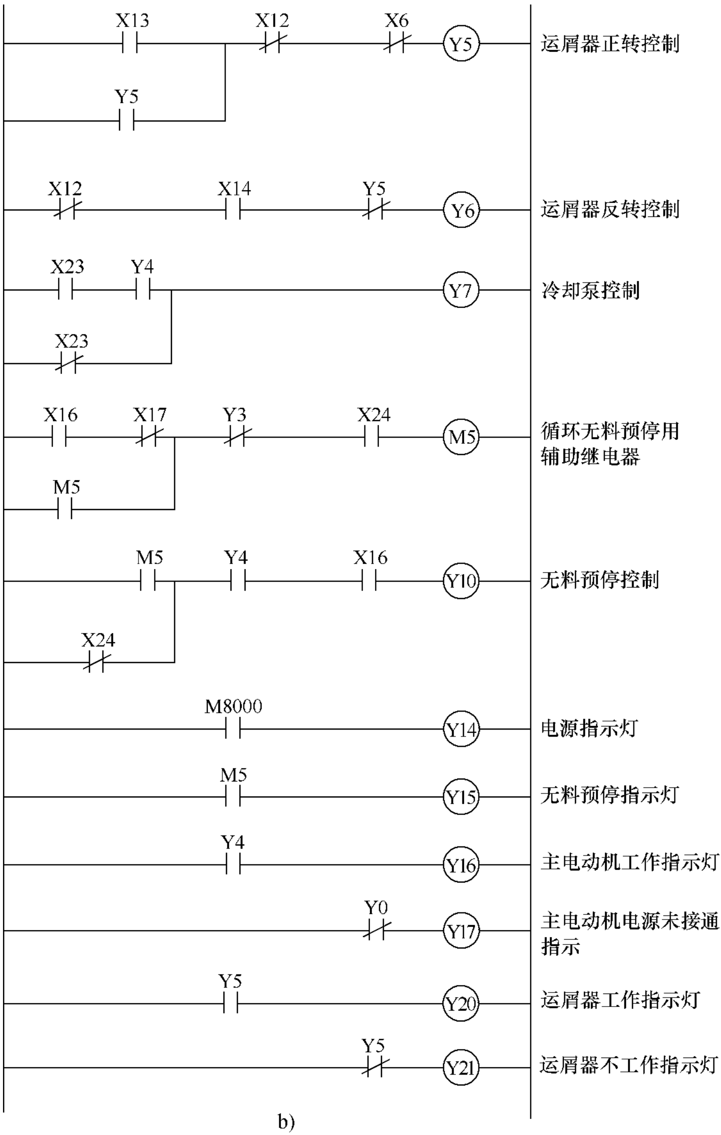


图 1-10 C2132 的 PLC 控制程序梯形图(续)

1. 主电动机的控制

(1) 星形联结控制

在送料机构中还有棒料时,送料机构不能压到微动行程开关 SQ1,SQ1 常开触点闭合,对应的输入继电器 X15 为 OFF,其常闭触点为 ON。转换开关 SA1-1 闭合,X21 为 ON,此时按下按钮 SB3 ,输入继电器 X2 为 ON,则输出继电器 Y3 线圈的逻辑回路接通并自锁,Y3 驱动其外部负载接触器 KM4 线圈电路导通;同时,Y3 的常开触点驱动输出继电器 Y0 线圈的逻辑回路导通,Y0 驱动外部负载接触器 KM1 的线圈电路接通,则接触器 KM1、KM4 得电并自锁,主触点闭合,将电动机 M1 绕组连接成星形运转,此时每相绕组的电压为 220V,起动转矩仅为全压起动时的 1/3,所以电动机最好在空载状态或者轻载状态下起动。

当 SA1-1 转换成断开状态时,输入继电器 X21 为 OFF,其常闭触点为 ON,此时按下按钮 SB4,输入继电器 X3 为 ON,输出继电器 Y3、Y0 的逻辑回路接通,驱动接触器 KM1、KM4 的线圈回路接通,电动机 M1 星形联结起动,实现多点起动。

(2) 三角形联结运转

当电动机 M1 的转动速度提高到一定程度以后,再按下起动按钮 SB5,输入继电器 X4 为 ON, X4 的常闭触点为 OFF,首先切断 Y3 线圈的逻辑回路,然后接通输出继电器 Y4 的逻辑回路,Y4 驱动负载接触器 KM5 的线圈电路闭合,常开触点驱动输出继电器 Y0 的逻辑回路闭合,此时接触器 KM1 和 KM5 线圈得电,电动机 M1 三角形联结运转,以较高的电压进行加工。

若将转换开关 SA1 转换到断开的位置,按下按钮 SB6,输入继电器 X5 为 ON,先接通输出继电器 Y4 的逻辑回路,再接通 Y0 的逻辑回路,驱动 KM1、KM5 得电,实现电动机 M1 的多点起动控制。

2. 分配轴电动机控制

分配轴电动机控制与主电动机控制程序在同一主控指令下,利用同样的停止控制程序,起动控制也采用前、后起动按钮的多点起动方式。

(1) 正转控制

转换开关 SA2-1 闭合,输入继电器 X22 为 ON,此时按下按钮 SB7,输入继电器 X6 为 ON,输出继电器 Y1 逻辑回路接通并自锁,Y1 驱动外部负载接触器 KM2 电路闭合,KM2 线圈得电,主触点闭合,电动机 M2 正转;如果将 SA2-1 断开,则按下按钮 SB8,输入继电器 X7 为 ON,接通 Y1 线圈回路和 KM2 线圈回路,控制分配轴电动机 M2 正转,实现多点控制,转换开关 SA2 只有两个位置,所以只占用一个输入端口即可。

(2) 反转控制

反转控制与正转控制类似,转换开关还是 SA2,但前、后的起动按钮是 SB9 和 SB10,对应的输入继电器为 X10 和 X11。当按下两按钮中的一个时,能够接通输

出继电器 Y3 逻辑回路,驱动接触器 KM3 线圈的电路接通,实现电动机 M2 的反转控制。

(3) 无料预停

无料预停控制分为调整控制和循环自动控制两种方式,SA4-1 闭合时,为自动循环控制方式;SA4-1 断开时,为调整控制方式。当 SA4-1 闭合时,输入继电器 X24 为 ON,电动机 M1 按照三角形联结正常转动以后,输入继电器 Y4 为 ON,Y3 为 OFF;当棒料毛坯从主轴中空部分伸出,弹簧套运动,使弹簧夹头夹紧工件,此时行程开关 SQ3 被压下,X16 为 ON,行程开关 SQ4 为自由状态,常开触点断开,输入继电器 X17 为 OFF,常闭触点为 ON,辅助继电器 M5 线圈逻辑回路接通并自锁,其常开触点驱动输出继电器 Y10 线圈逻辑回路导通,Y10 使负载中间继电器 KA5 线圈电路导通,KA5 线圈得电,其常开触点闭合,电磁离合器 YC 线圈得电,分配轴和主轴的传动链接通,开始循环加工。如无坯料伸出或者伸出后没有夹紧,则辅助继电器 M5 不能接通,电磁离合器 YC 不能接通,主轴和刀架都不能运动。

SA4-1 断开时为调整状态,输入继电器 X24 为 OFF,其常闭触点为 ON。当工件夹紧时,SQ3 行程开关压下闭合,输入继电器 X16 为 ON,则直接接通 Y10 的逻辑回路,使中间继电器 KA5 线圈得电,驱动电磁离合器 YC 线圈得电,接通分配轴和主轴的传动链,主轴和刀架工作。

3. 运屑器的正、反转控制

当按下按钮 SB12,输入继电器 X13 为 ON,使输出继电器 Y5 线圈逻辑回路接通并自锁,驱动外部负载中间继电器 KA2 线圈得电,常开触点闭合,接通电动机 M3 的主电路,电动机 M3 正转,运屑器工作,自动将从工件掉下来的大量切屑带到垃圾箱中。

按下按钮 SB13,输入继电器 X14 为 ON,使输出继电器 Y6 线圈逻辑回路接通,但不自锁,中间继电器 KA3 线圈电路接通,其常开触点闭合,将电动机 M3 主电路两相对调,电动机 M3 反转。由于运屑器电动机 M3 不需要长期反转,只需要点动控制即可。

按下按钮 SB11,输入继电器 X12 为 ON,其常闭触点为 OFF,可以切断输出继电器 Y5、Y6 的逻辑回路,断开 KA2、KA3 的线圈电路,控制运屑器电动机 M3 停止。

4. 冷却泵的控制

冷却泵的控制有两种方式,一种为单独起动控制,另一种为与主电动机的联动控制。当 SA3-1 断开时,输入继电器 X23 为 OFF,其常闭触点为 ON,使输出继电器 Y7 线圈的逻辑回路接通,Y7 驱动所连接的负载中间继电器 KA4 线圈电路接通,常开触点闭合,接通电动机 M4 的主电路,冷却泵以单独方式工作。

如果 SA3-1 闭合，则需要主电动机正常工作时，输出继电器 Y4 为 ON，才能接通输出继电器 Y7 线圈、中间继电器 KA4 线圈和电动机 M4 的主电路，一旦循环加工结束，Y4 断开，冷却泵就立即停止。这种控制方式称为联动控制。

5. 指示灯的控制

指示灯的控制关系比较简单。在进行 PLC 改造过程中，通过合理利用前面介绍的 PLC 逻辑元件，直接控制对应的输出继电器就可以控制指示灯工作，在此不再详述。其中辅助继电器 M8000 是 FX2N 中的一个特殊的辅助继电器，其作用是在 PLC 工作时 M8000 就为 ON，所以当系统得电开始工作时，输出继电器 Y14 就一直得电，指示灯 HL1 就亮，以指示系统的工作，同时也表示系统电源接通，能起到运行监视的作用。

1.7　C523 立式车床电气控制解析

1.7.1　C523 的工艺特点与控制要求

1. 工艺特点

立式车床主要用于加工径向尺寸大而轴向尺寸相对较小，且形状比较复杂的大型或重型零件。立式车床是汽轮机、水轮机、重型电动机、矿山冶金等重型机械制造厂不可缺少的加工设备。立式车床结构布局的主要特点是主轴垂直布置，并有一个很大的圆形工作台，供安装工件用，工作台面处于水平位置，因而笨重工件的装夹和找正比较方便。由于工件及工作台的重量由床身导轨或者推力轴承承受，大大减轻了主轴及其轴承的载荷，因此较易保证加工精度，可以用于加工大型零件的孔、外圆、端面、圆形的沟槽等表面。一般情况下，工作台转速较低。加工外圆或者内孔时，需要在工件安装时保证被加工孔的轴心线与机床工作台的旋转中心线重合，一般通过夹具或者找正的方法来实现。立式车床加工效率比较低。

立式车床分为单柱式和双柱式两种，前者加工直径一般小于 1600mm，后者加工直径一般大于 2000mm。C523 属于双立柱式车床，具有两个立柱，它们通过底座和上面的横梁连接成一个封闭式框架。横梁上通常装有两个刀架，分别称为左、右垂直刀架，另外还有一个侧刀架装在右立柱的垂直导轨上。三个刀架的位置需要根据工件加工部位进行调整，分别由三个电动机带动。工作台上安装工件，在主电动机带动下作主运动。

为了便于加工不同位置的表面，C523 立式车床有三个刀架（横梁上的左、右刀架和侧刀架）。为了节约调整刀具位置的辅助时间，刀架需要能够快速调整。

2. 控制要求

根据 C523 的工艺特点和运动情况，其主要控制要求如下：

1）主运动为圆形工作台的旋转运动，由主电动机 M1 带动，不需要正、反转。

2）横梁需要进行上、下位置的调整，以便适合不同高度的零件或高度方向的不同加工部位。在进行上、下位置调整时，需要先松开，然后再快速上、下运动，移动到指定位置后，需要制动，然后再夹紧。

3）横梁升降电动机负责将动力传递到横梁的升降丝杠，正转向上，反转向下；夹紧电动机负责将动力传递到夹紧机构，电动机正转夹紧，反转则松开。

4）三个刀架分别由对应的电动机带动，并都需要作上、下、左、右四个方向的快速进给运动。为了简化传动链，每个方向的运动的传递与分离由对应的电磁离合器控制，电磁离合器得电，则对应方向的传动链接通，刀架作快速移动。一共有 12 个电磁离合器。

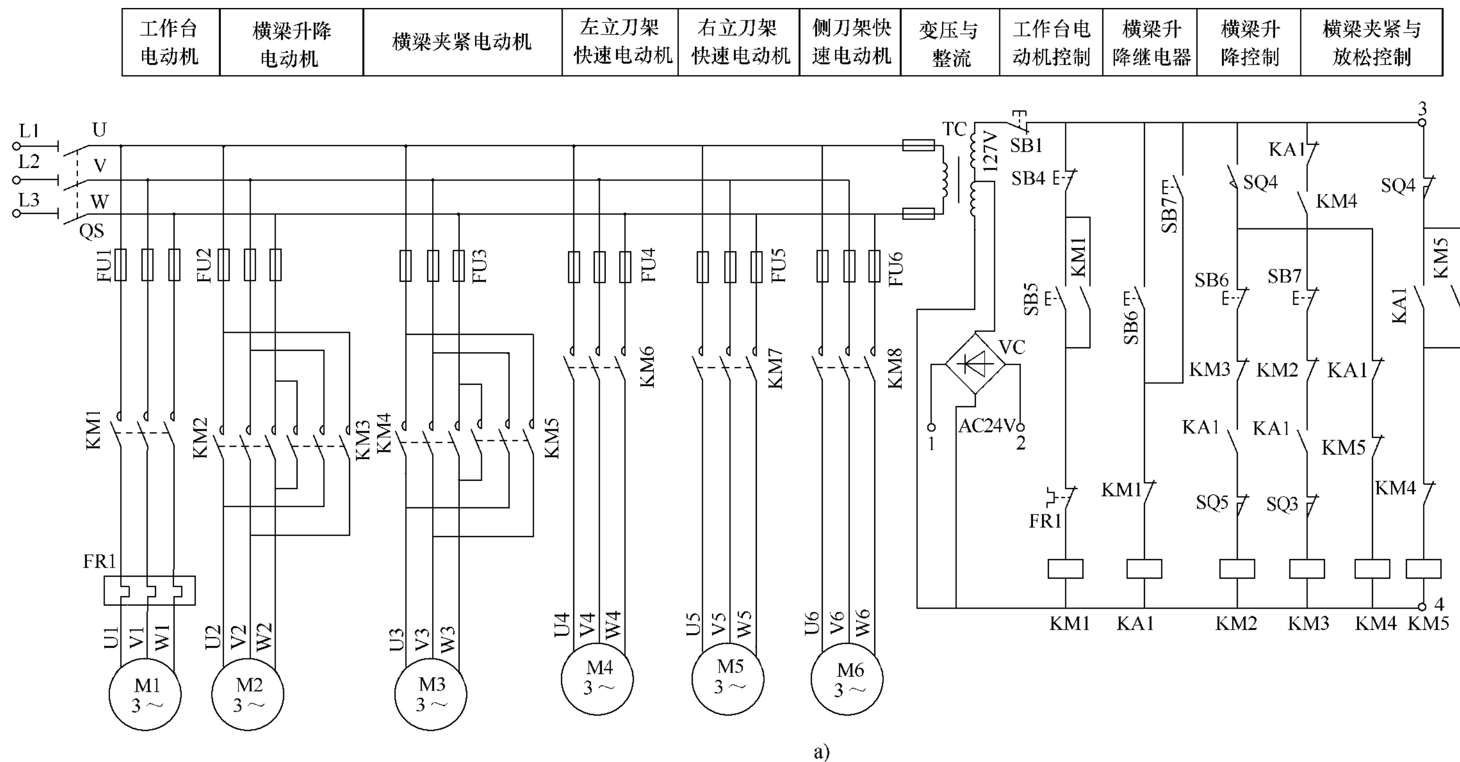
5）由于刀架惯性大、速度快，所以在停止时，需要进行运动的制动。由控制对应的制动离合器来实现制动。相互垂直的两个方向分别有一个制动离合器，一共有 6 个制动离合器。

1.7.2 C523 电路控制分析说明

C523 立式车床的电气原理图如图 1-11 所示。图示所用的电气元件符号与功能说明见表 1-7。下面分析其工作过程：

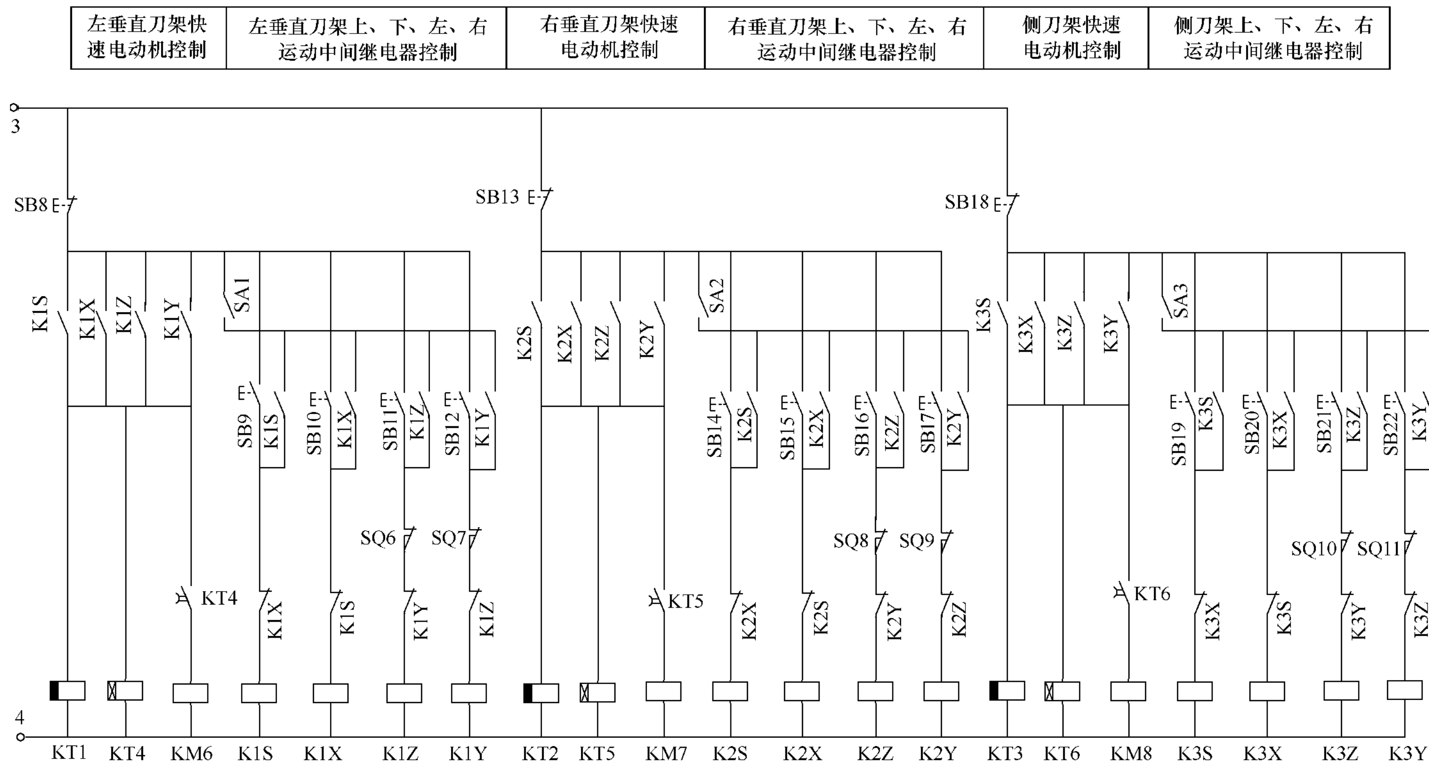
表 1-7 电气元件符号及功能说明表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	工作台主电动机	KT4～KT6	通电延时时间继电器
M2	横梁升降电动机	VC	整流器
M3	横梁夹紧电动机	TC	控制变压器
M4、M5	左、右刀架电动机	C1～C18	电容器
M6	侧刀架电动机	SQ6～SQ11	极限位置行程开关
FU1～FU6	熔断器	K1S～K3S	三刀架向上运动中间继电器
KM1～KM8	接触器	K1X～K3X	三刀架向下运动中间继电器
FR1	热继电器	K1Z～K3Z	三刀架向左运动中间继电器
SA1～SA3	三刀架电动机长动与点动转换开关	K1Y～K3Y	三刀架向右运动中间继电器
SB4、SB5	工作台运动控制按钮	YA1S～YA3S	三刀架向上运动电磁离合器
SB6、SB7	横梁升降运动控制按钮	YA1X～YA3X	三刀架向下运动电磁离合器
SB8～SB12	左垂直刀架运动控制按钮	YA1Z～YA3Z	三刀架向左运动电磁离合器
KA1	横梁上下运动中间继电器	YA1Y～YA3Y	三刀架向右运动电磁离合器
SQ3、SQ5	横梁上下极限位置开关	YA1J～YA3J	三刀架上、下运动制动器
SQ4	横梁松开行程开关	YA1C～YA3C	三刀架左、右运动制动器
KT1～KT3	断电延时时间继电器	—	—

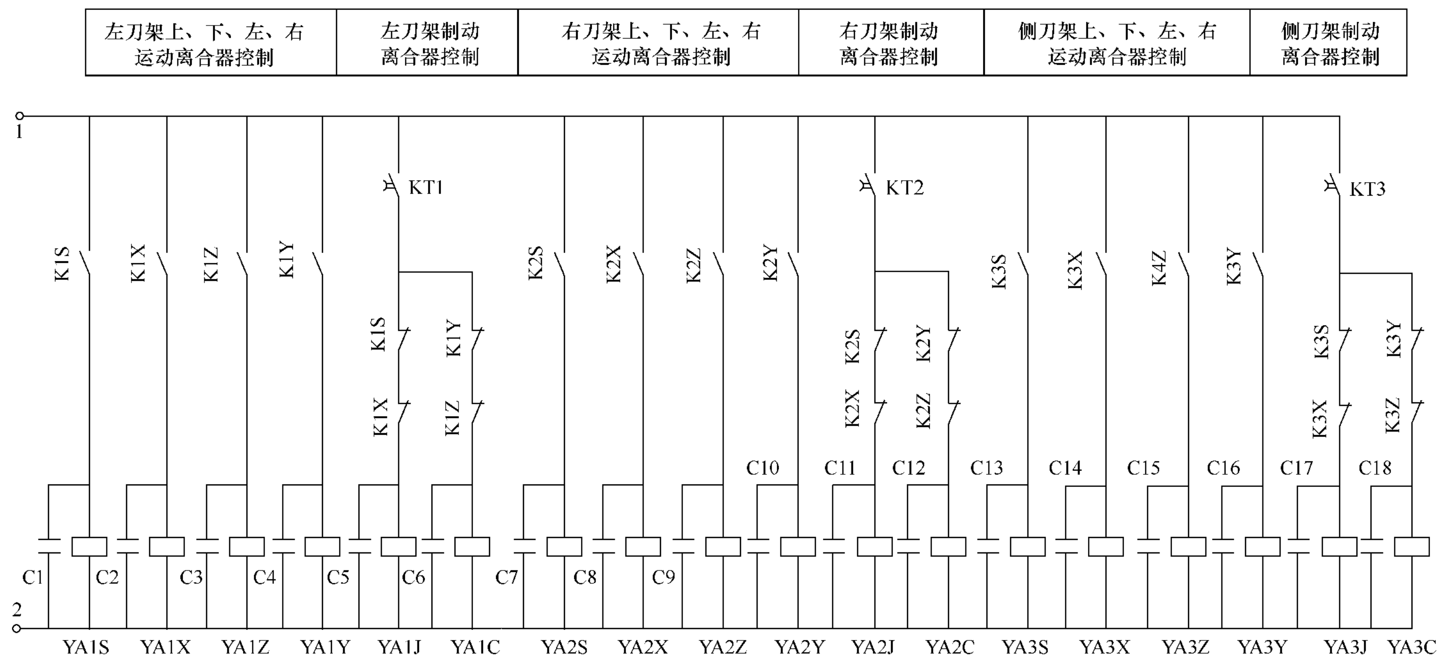


a)

图 1-11　C523 立式车床的电气原理图


左垂直刀架快速电动机控制
左垂直刀架上、下、左、右运动中间继电器控制
右垂直刀架快速电动机控制
右垂直刀架上、下、左、右运动中间继电器控制
侧刀架快速电动机控制
侧刀架上、下、左、右运动中间继电器控制
3
4
SB8
SB13
SB18
SA1
SA2
SA3
K1S K1X K1Z K1Y
K2S K2X K2Z K2Y
K3S K3X K3Z K3Y
SB9 SB10 SB11 SB12
SB14 SB15 SB16 SB17
SB19 SB20 SB21 SB22
SQ6 SQ7 SQ8 SQ9 SQ10 SQ11
KT4 KT5 KT6
KT1 KT4 KM6 K1S K1X K1Z K1Y KT2 KT5 KM7 K2S K2X K2Z K2Y KT3 KT6 KM8 K3S K3X K3Z K3Y

b)



c)

图 1-11 C523 立式车床的电气原理图(续)

1. 主电路分析

C523 双柱立式车床的主电路。是由六台三相异步电动机拖动，从图 1-11 中可以看出，M1 为工作台拖动主电动机，M2 为横梁升降电动机，M3 为横梁夹紧电动机，M4、M5 分别为左、右垂直刀架（立刀架）快速电动机，M6 为侧刀架快速电动机。

机床电路由 380V、50Hz 的三相交流电源供电，而控制回路电压为 127V。离合器电磁铁为 24V 直流。

垂直刀架和侧刀架均由电磁离合器来控制，全部操纵按钮及选择开关均安装在悬挂式按钮站上，对机床进行集中控制。

控制电路的组成部分为工作台主电动机的起动和停止、横梁升降的控制三个部分。其中横梁升降电动机和横梁夹紧电动机需要由接触器控制正、反转，其他电动机都只是单向转动。

2. 控制电路分析

(1) 工作台电动机控制

按下按钮 SB5，接触器 KM1 线圈得电并自锁，主触点闭合，电动机 M1 主电路接通起动，通过传动机构带动工作台转动。转速由齿轮机构调整决定。按下按钮 SB4 时，接触器 KM1 线圈断电，电动机 M1 停止转动。

(2) 横梁升降电动机控制

横梁上升和下降的操作，需要先控制电动机 M3 转动，松开夹紧机构，当松开到一定位置后，横梁上、下运动电动机 M2 才转动，带动传动机构，使横梁作上、下运动；当到达指定位置后，横梁需要固定在相应位置上，则夹紧电动机 M3 自动反向转动，夹紧横梁，避免在加工过程中，横梁上、下位置的移动。

如果需要向上运动，则按下下降按钮 SB7，中间继电器 KA1 线圈得电，其常开触点闭合，使接触器 KM5 线圈得电并自锁，电动机 M3 正向转动，横梁放松；当横梁放松到一定位置时，其上的制子压动行程开关 SQ4，使其常闭触点断开，KM5 线圈断电，横梁处于松开状态，可以进行上升或下降运动，SQ4 的常开触点闭合，使接触器 KM2 线圈得电，主触点闭合，电动机 M2 正转，通过传动机构带动横梁作下降运动；由于 SB7 的常闭触点串接在 KM3 回路中，所以具有互锁作用。当下降到指定位置后，松开按钮 SB7，接触器 KM2 线圈断电，由于 SQ4 被制子压住，横梁还处于松开状态，在 KA1 线圈断电时，其常闭触点闭合，使接触器 KM4 线圈电路接通，M3 反转，通过传动机构使横梁夹紧，直到 SQ4 松开，其常开触点断开，KM4 断电，M3 停止，完成一次横梁下降移动调整过程。与之相反，按下按钮 SB6，则 M3 先正转，松开横梁，M2 反转实现向上移动，松开 SB6 则停止移动，并自动夹紧横梁。

(3) 左垂直刀架运动控制

当转换开关 SA1 接通闭合，转换成长动状态，按下向上运动按钮 SB9，则中间

继电器 K1S 线圈得电并自锁，其常开触点闭合，使时间继电器 KT1、KT4 线圈得电。由于 KT1 是断电延时时间继电器，其延时常开触点立即闭合，为制动离合器工作打下了基础，同时电磁离合器 YA1S 得电动作，接通向上运动传动链。待延时时间到，则通电延时时间继电器 KT4 的延时动合触点闭合，接触器 KM6 线圈得电，使左侧刀架快进电动机 M4 起动，刀架作向上移动。当到达需要的位置后，按下按钮 SB8，则 K1S 线圈断电，常开触点断开，接触器 KM6、时间继电器 KT4 以及断电延时时间继电器 KT1 线圈都断电，电动机 M4 停止转动，刀架停止向上，电磁离合器 YA1S 断电。由于 K1S 线圈断电，其常闭触点闭合，制动离合器 YA1J 得电，对传动机构进行制动，使运动元件迅速停下来，KT1 从线圈断电开始计时，当延时时间到，则延时触点断开，制动离合器 YA1J 断电，上升运动过程结束。

左垂直刀架下降时，按下起动按钮 SB10，中间继电器 K1X 得电，KT1、KT4、KM6、YA1X 线圈得电，接通向下运动传动链后，电动机 M4 带动刀架作向下运动，当到达指定位置后，按下停止按钮 SB8，则 KT1、KT4、KM6、YA1X 线圈断电，电动机停止，同时制动离合器 YA1J 得电制动，结束向下运动控制。

左垂直刀架右运动控制与上、下运动控制相似，按下按钮 SB11 或 SB12，对应的中间继电器 K1Z 或 K1Y 线圈得电，K1Z 代表向左运动，K1Y 代表向右运动，接通 KT1、KT4、KM6 线圈，电磁离合器 YA1Z 或 YA1Y 线圈也得电。其中，YA1Z 电磁离合器得电，接通向左运动传动链；YA1Y 电磁离合器得电，接通向右运动传动链；接触器 KM6 得电，接通电动机 M4 主电路。由于电磁离合器的作用，分别实现向左或向右运动，当到达指定位置后，按下停止按钮 SB8，电动机停止，同时接通制动离合器 YA1C 进行制动。为了防止左、右运动超过极限位置，分别在左、右设置了极限限位开关 SQ6、SQ7，当刀架碰到它们时，则对应中间继电器断电，电动机 M4 停止运动，以免移出发生事故。

当 SA1 断开悬空后，按下按钮 SB9、SB10、SB11、SB12，则为点动调整。

(4) 右垂直刀架运动控制

右垂直刀架运动控制过程与左刀架的运动控制过程相似，也包括左、右、上、下四个方向的控制，带动刀架运动的电动机为 M5，由接触器 KM7 控制，按下上(下)运动控制按钮 SB14(SB15)，则对应的中间继电器为 K2S(K2X)线圈得电，断电延时时间继电器为 KT2 线圈、通电延时时间继电器为 KT5 线圈、电磁离合器为 YA2S(YA2X)、接触器 KM7 都得电，电动机 M5 转动，通过上、下传动链离合器带动刀架作上、下运动。按下停止按钮 SB13，电动机 M5 停止，同时接通制动离合器 YA2J 进行制动。

左、右运动控制与上、下运动控制相似，按下按钮 SB16 或 SB17，对应的中间继电器 K2Z、K2Y 线圈得电，K2Z 代表向左运动，K2Y 代表向右运动，分别接通 KT2、KT5、KM7 线圈和电磁离合器 YA2Z、YA2Y，YA2Z 接通向左运动传动链，

YA2Y 接通向右运动传动链。分别在左、右设置了极限限位开关 SQ8、SQ9，当刀架碰到它们时，则中间继电器 K2Z 或 K2Y 断电，电动机 M5 停止运动，以免移出发生事故。停止时，由制动离合器 YA2C 完成制动。

(5) 侧刀架运动控制

侧刀架电动机运动由 M6 带动，接触器 KM8 控制其接通，控制过程与左、右刀架控制一样，不再叙述。

1.8 C523 立式车床电气控制 PLC 改造

1.8.1 C523 改造说明与电路设计

根据 C523 立式车床的工作过程和已有继电器控制的电气参数，考虑将所有按钮、行程开关、转换开关等元件作为 PLC 的信号输入元件，将所有接触器线圈负载作为 PLC 的输出控制对象，连接 PLC 的输出端口，共计 63 个输入、输出点，所以选择 FX2N—80MR 可编程序控制器进行改造，负载电源类型少。首先考虑保证原有控制功能不变，尽量保留原来的电气元件，不添加新的元件，主电路不变，变压器不变，所有按钮和行程开关都连接常开触点，热继电器连接常闭触点；PLC 电源电压为交流 220V，接触器负载电源为交流 127V，电磁离合器和制动器电源为直流 24V，输出端口采用继电器输出方式。

改造中，主要采用了以下几点措施：

1) 将所有原来电路中的中间继电器用 PLC 的辅助继电器(M)代替，大大减少了负载数量，使线路得到精简。

2) 将通电延时时间继电器用 PLC 的逻辑元件定时器(T)代替，断电延时时间继电器采用断电脉冲触发方式和一定的算法完成，使得系统的可靠性大大提高。

3) 将硬件上有互锁关系的输出元件，如 KM2 与 KM3，KM4 与 KM5 在输出端口的电路连接就实现互锁，避免同时得电造成短路。其他的电磁离合器虽然也有相反的运动传递，但即使同时接通，短时间内也不至于损坏设备，所以不需要互锁。

4) 电磁离合器是典型的感性负载，功率较大(相对其他继电器元件)，容易对输出端口造成较大的冲击，影响 PLC 的寿命，所以不直接与 PLC 输出端口连接，通过中间继电器来控制。即由 PLC 根据控制逻辑控制中间继电器，当中间继电器线圈得电时，触点接通动作，控制电磁铁电路闭合，24V 电源直接为电磁铁供电，无须通过 PLC 的输出端口。其中，中间继电器的控制逻辑由继电器—接触器控制回路中的电磁离合器或制动器的控制逻辑决定。FX2N 型 PLC 的输出端口电气特性参数见表 1-8。

表 1-8　FX2N 型 PLC 的输出端口电气特性参数

负载类型	继电器输出	晶体管输出
电阻负载	2A/1 点,8A/一个 COM 端	0.5A/1 点,0.8A/4 点
电感性负载	80VA	12W/DC-24V
灯负载	100W	1.5W/DC-24V

改造后的电气原理图如图 1-12 所示,元件分配情况见表 1-9。

表 1-9　低压电气元件与逻辑元件分配表

低压电气元件	逻辑元件	作　用	低压电气元件	逻辑元件	作　用
SB1	X0	总停按钮	SB21	X24	侧刀架向右运动按钮
SB4	X3	工作台电动机停止按钮	SB22	X25	侧刀架向左运动按钮
SB5	X4	工作台电动机起动按钮	SQ3	X30	横梁下限位行程开关
SB6	X5	横梁上升操作按钮	SQ4	X31	横梁松开行程开关
SB7	X6	横梁下降操作按钮	SQ5	X32	横梁上限位行程开关
SB8	X7	左刀架运动停止按钮	SQ6	X33	左立电动机左限位开关
SB9	X10	左刀架向上运动按钮	SQ7	X34	左立电动机右限位开关
SB10	X11	左刀架向下运动按钮	SQ8	X35	右立电动机左限位开关
SB11	X12	左刀架向右运动按钮	SQ9	X36	右立电动机右限位开关
SB12	X13	左刀架向左运动按钮	SQ10	X37	侧立电动机左限位开关
SB13	X14	右刀架运动停止按钮	SQ11	X40	侧立电动机右限位开关
SB14	X15	右刀架向上运动按钮	K1S	M1	左刀架向上
SB15	X16	右刀架向下运动按钮	K1X	M2	左刀架向下
SB16	X17	右刀架向右运动按钮	K1Z	M3	左刀架向左
SB17	X20	右刀架向左运动按钮	K1Y	M4	左刀架向右
SB18	X21	侧刀架运动停止按钮	K2S	M5	右刀架向上
SB19	X22	侧刀架向上运动按钮	K2X	M6	右刀架向下
SB20	X23	侧刀架向下运动按钮	K2Z	M7	右刀架向左

（续）

低压电气元件	逻辑元件	作用	低压电气元件	逻辑元件	作用
K2Y	M8	右刀架向右	YA1Y	Y13	左立电动机向右运动离合器
K3S	M9	侧刀架向上	YA1J	Y14	左立电动机上、下运动制动器
K3X	M10	侧刀架向下	YA1C	Y15	左立电动机左、右运动制动器
K3Z	M11	侧刀架向左	YA2S	Y16	右立电动机向上运动离合器
K3Y	M12	侧刀架向右	YA2X	Y17	右立电动机向下运动离合器
SA1	X41	左立电动机自动工作转换开关	YA2Z	Y20	右立电动机向左运动离合器
SA2	X42	右立电动机自动工作转换开关	YA2Y	Y21	右立电动机向右运动离合器
SA3	X43	侧立电动机自动工作转换开关	YA2J	Y22	右立电动机上、下运动制动器
FR1	X44	工作台电动机热继电器触点	YA2C	Y23	右立电动机左、右运动制动器
KM1	Y0	工作台电动机接触器	YA3S	Y24	侧立电动机向上运动离合器
—	M0	上升或者下降状态（代替改造前的 KA1）	YA3X	Y25	侧立电动机向下运动离合器
KM2	Y1	横梁上升接触器	YA3Z	Y26	侧立电动机向左运动离合器
KM3	Y2	横梁下降接触器	YA3Y	Y27	侧立电动机向右运动离合器
KM4	Y3	横梁夹紧接触器	YA3J	Y30	侧立电动机上、下运动制动器
KM5	Y4	横梁松开接触器	YA3C	Y31	侧立电动机左、右运动制动器
KM6	Y5	左立电动机控制接触器	—	T1	左刀架制动用定时器（代替改造前的 KT1）
KM7	Y6	右立电动机控制接触器	—	T2	右刀架制动用定时器（代替改造前的 KT2）
KM8	Y7	侧立电动机控制接触器	—	T3	侧刀架制动用定时器（代替改造前的 KT3）
YA1S	Y10	左立电动机向上运动离合器	—	T4	左刀架电动机起动用定时器（代替改造前的 KT4）
YA1X	Y11	左立电动机向下运动离合器	—	T5	右刀架电动机起动用定时器（代替改造前的 KT5）
YA1Z	Y12	左立电动机向左运动离合器	—	T6	侧刀架电动机起动用定时器（代替改造前的 KT6）

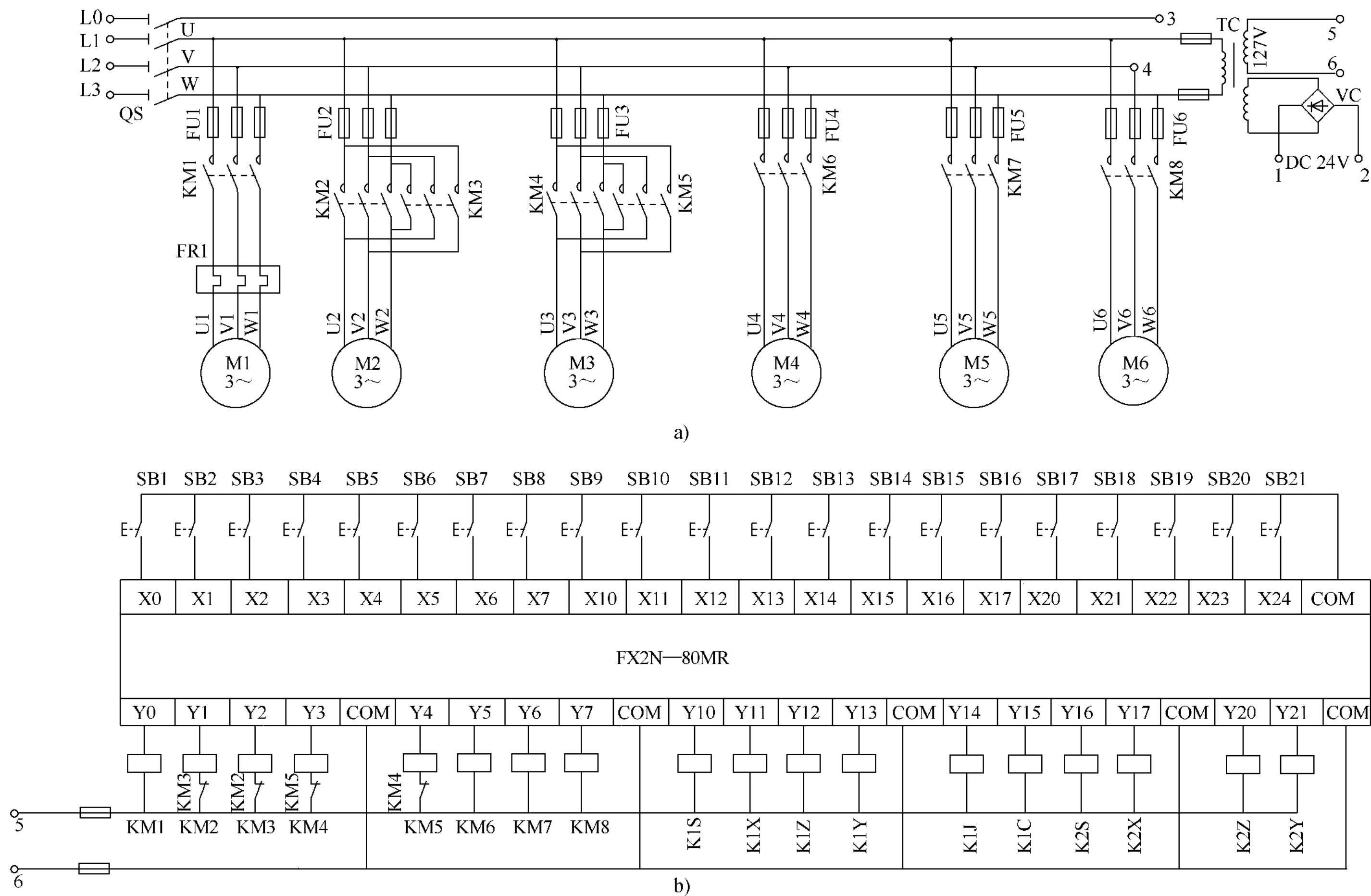
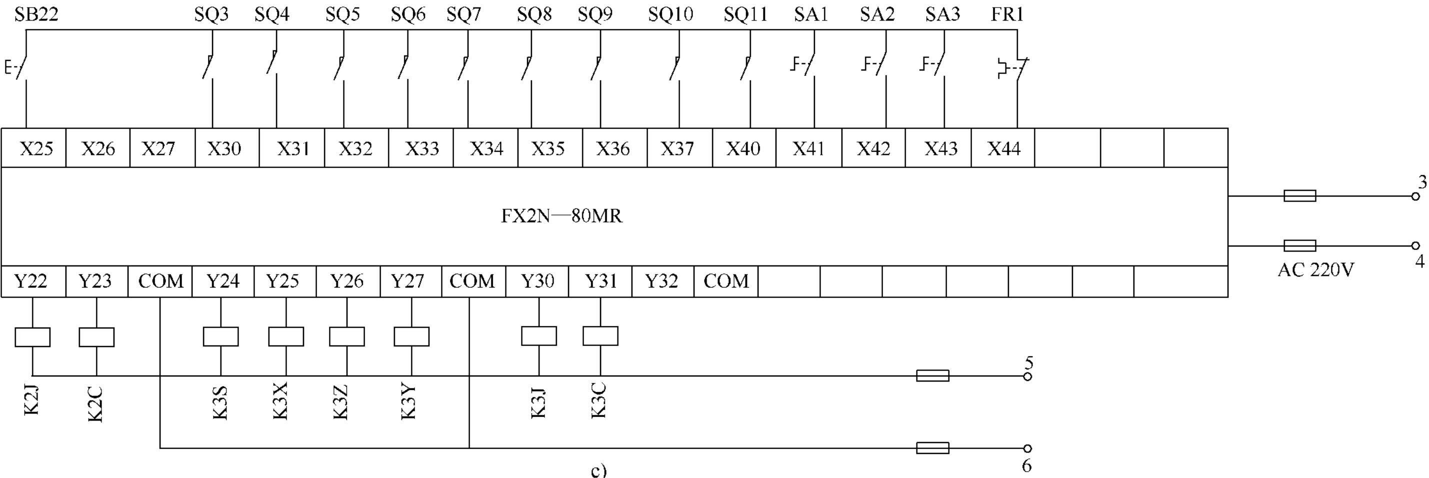
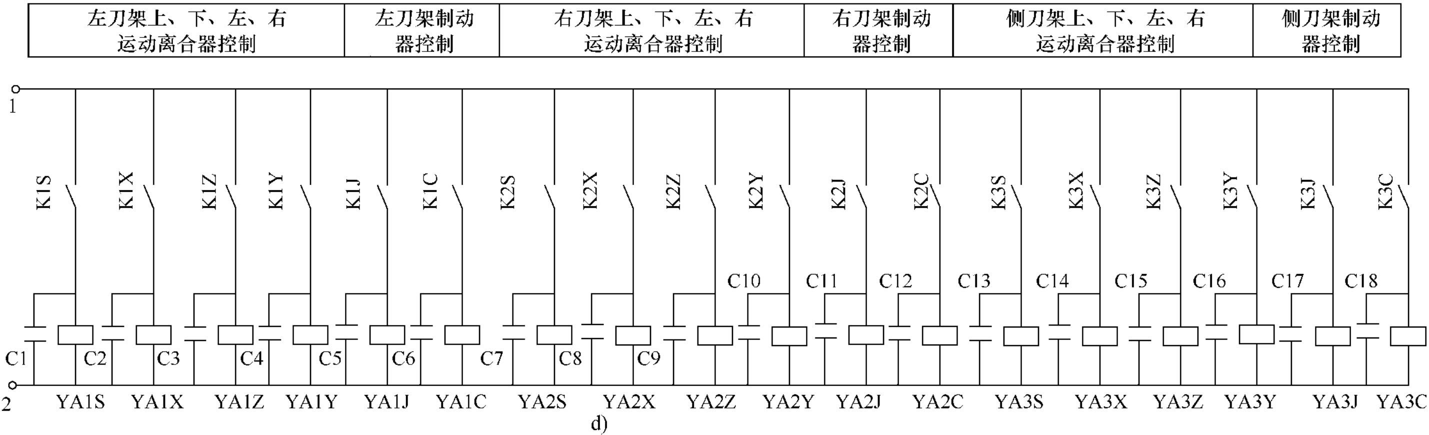


图 1-12 PLC 改造 C523 的电气原理图



c)



d)

图 1-12 PLC 改造 C523 的电气原理图（续）

1.8.2 C523 程序设计与说明

根据 C523 的控制要求和继电器—接触器的控制逻辑，结合 PLC 的端口分配，设计的 PLC 控制程序如图 1-13 所示。

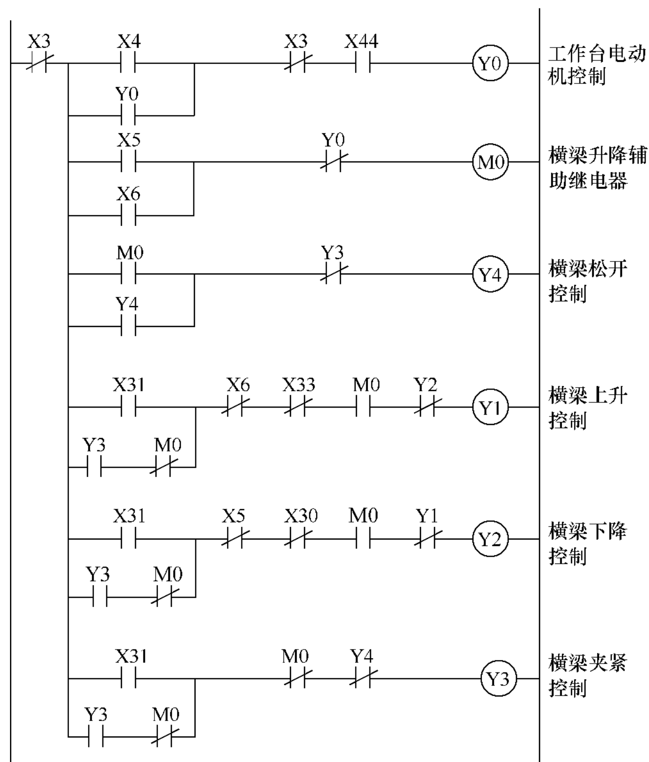
1. 工作台电动机控制

当按下按钮 SB5，输入继电器 X4 为 ON，输出继电器 Y0 逻辑回路导通为 ON 并自锁，驱动接触器 KM1 线圈电路闭合，线圈得电，主触点闭合，电动机主电路得电转动；当按下按钮 SB4 时，输入继电器 X4 得电为 ON，经过取反后为 OFF，Y0 线圈回路断开，使 KM1 线圈断电，电动机停止。

2. 横梁升降控制

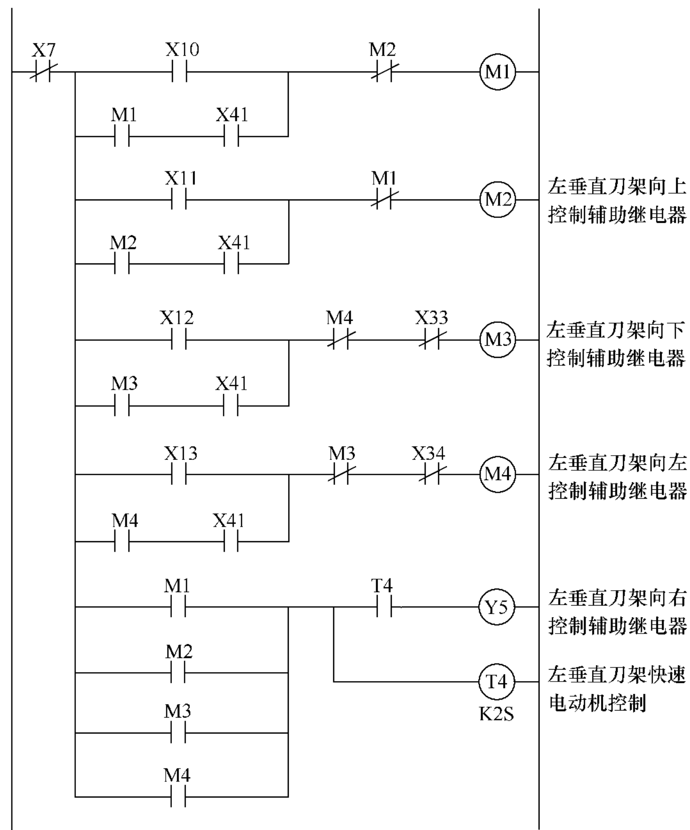
当按下横梁上升操作按钮 SB6 时，输入继电器 X5 得电为 ON，使辅助继电器 M0 线圈回路导通，M0 为 ON。M0 常开触头驱动输出继电器 Y4 线圈回路导通，接触器 KM5 线圈回路闭合，KM5 主触点闭合，驱动横梁夹紧电动机 M3 反转，松开横梁夹紧机构，当松开机构的制子压下行程开关 SQ4 后，表示夹紧机构完全松开，使输入继电器 X31 得电为 ON，输出继电器 Y4 线圈回路断开，KM5 断电，电动机 M3 停止转动，为横梁上升做好了松开的准备。由于 SQ4 被压下，X31 触点闭合为 ON，驱动输出继电器 Y1 线圈逻辑回路导通为 ON，接触器 KM2 线圈电路闭合，电动机 M2 正转，通过传动机构使横梁上升，当横梁上升到上限位行程开关 SQ5 位置时，输入继电器 X32 为 ON ，经过取反后为 OFF，使得输出继电器 Y1 线圈断电，KM2 线圈回路断开，M2 停止转动，横梁不能再上升。如果在上升到需要的位置时松开按钮 SB6，则输入继电器 X5 断电为 OFF，辅助继电器 M0 断电，输出继电器 Y1 线圈逻辑回路断开，KM2 线圈断电，电动机 M2 也停止。当 M0 断电时，行程开关 SQ4 仍然被压住，所以接通输出继电器 Y3 线圈回路，驱动接触器 KM4 回路闭合得电，电动机 M2 得电反转，通过传动机构夹紧横梁，使横梁被固定在指定位置。

如果按下按钮 SB7，则横梁做向下运动，先经过横梁夹紧电动机 M3 的正转，使横梁松开，压下行程开关 SQ4 后，电动机 M2 反转，横梁下降，到达指定位置或者到达下限位行程开关 SQ3 位置，电动机 M2 先停止，M3 再反转夹紧横梁。其梯形图的工作控制逻辑能满足要求。输出继电器 Y3 和 Y4 的常闭触点在梯形图回路中起互锁的作用。



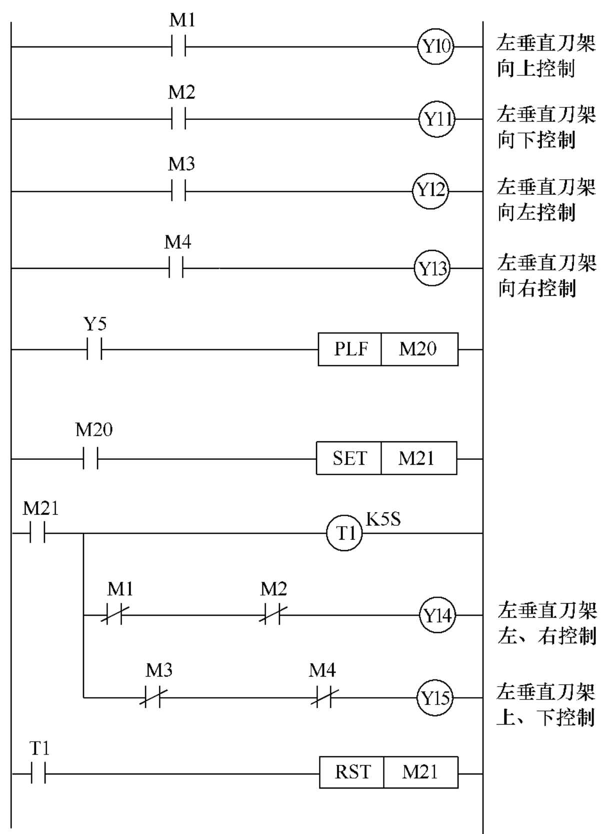
X3
X4
Y0
X3
X44
Y0
工作台电动机控制
X5
X6
Y0
M0
横梁升降辅助继电器
M0
Y4
Y3
Y4
横梁松开控制
X31
Y3
M0
X6
X33
M0
Y2
Y1
横梁上升控制
X31
Y3
M0
X5
X30
M0
Y1
Y2
横梁下降控制
X31
Y3
M0
M0
Y4
Y3
横梁夹紧控制

a)

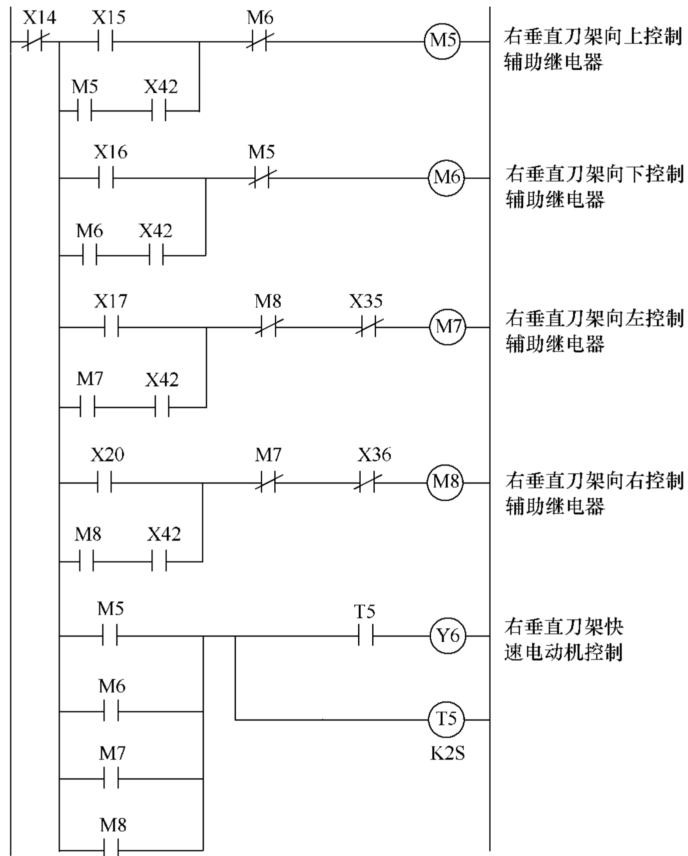


X7
X10
M1
X41
M2
M1
X11
M2
X41
M1
M2
左垂直刀架向上控制辅助继电器
X12
M3
X41
M4
X33
M3
左垂直刀架向下控制辅助继电器
X13
M4
X41
M3
X34
M4
左垂直刀架向左控制辅助继电器
M1
M2
M3
M4
T4
Y5
左垂直刀架向右控制辅助继电器
T4
K2S
左垂直刀架快速电动机控制

b)



c)



d)

图 1-13 PLC 控制 C523 的梯形图

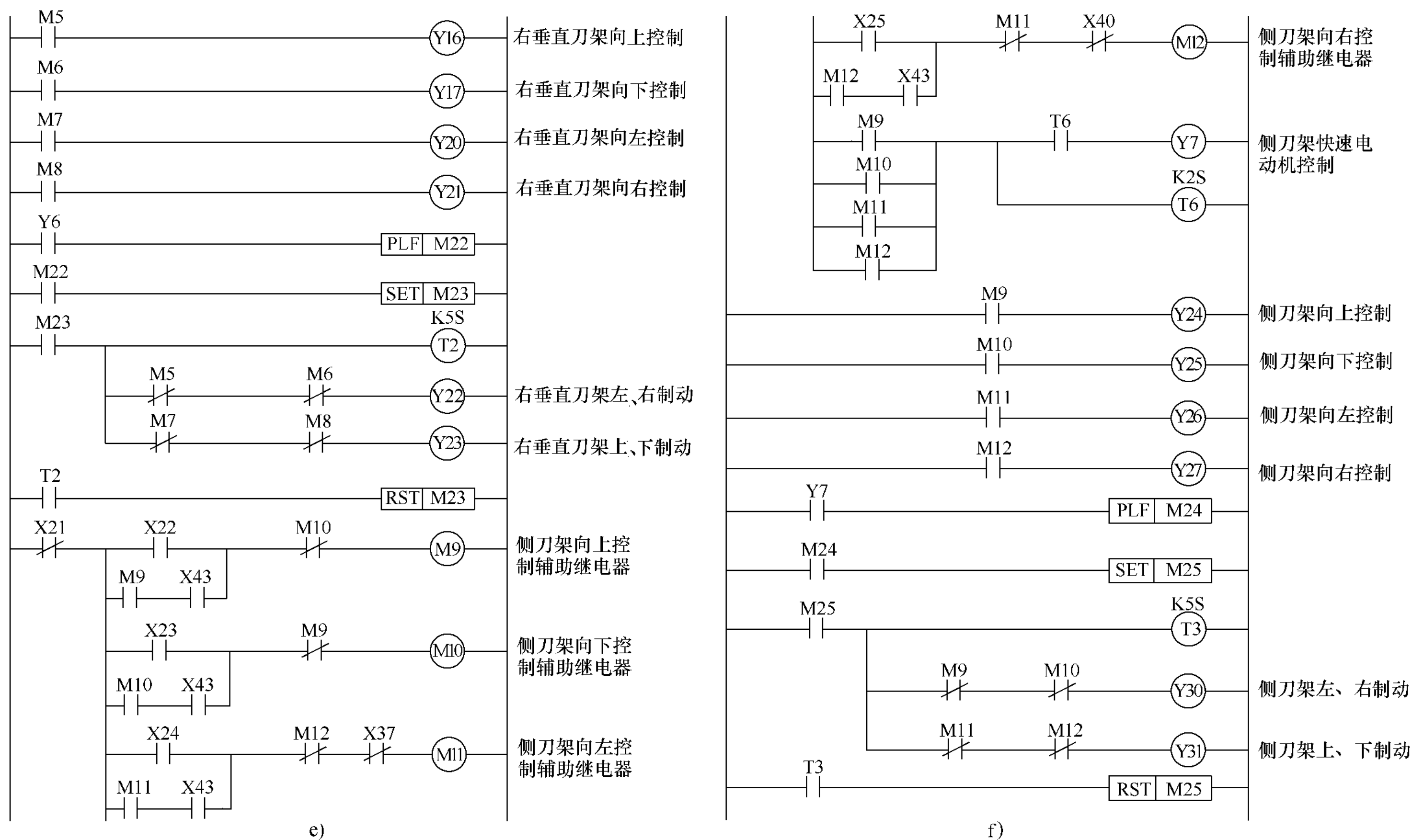


图 1-13 PLC 控制 C523 的梯形图（续）

3．刀架电动机控制

（1）左立刀架

刀架包括左、右刀架和侧刀架，其位置的运动调整分别由电动机M4、M5、M6带动，其运动的传递是通过电磁铁接通不同方向的电磁离合器，使不同方向的传动机构闭合，实现上、下、左、右的运动传递控制。在改造过程中，将时间继电器KT用PLC中的逻辑元件T（又称计时器）代替，将各个方向控制用的中间继电器用辅助继电器M代替，大大减少了输出的点数。具体梯形图如图1-13所示，工作原理如下：

转换开关SA1置于连续工作状态，输入继电器X41为ON。当按下左刀架向上运动控制按钮SB9时，输入继电器X10为ON，驱动辅助继电器M1线圈回路闭合，M1为ON并自锁，驱动定时器T4线圈回路得电，计时开始，同时，M1驱动输出继电器线圈Y10回路得电为ON，中间继电器K1S得电，常闭触点闭合，驱动电磁离合器YA1S电路闭合通电，离合器将左刀架向上运动的传动机构接通，2s以后（时间可以调整），定时时间到，定时器T5的触点为ON，输出继电器Y5回路导通为ON，驱动接触器KM6线圈回路闭合，主触点接通电动机M4电路，通过传动机构带动刀架作向上运动。这里必须先接通电磁离合器后才能接通电动机电路，否则容易产生碰撞事故。

当按下停止按钮SB8后，输入继电器X7为ON，取反后为OFF，辅助继电器M1线圈，输出继电器Y5、Y10线圈，定时器T5线圈都断电为OFF，接触器KM6线圈断电，K1S线圈断电，使离合器YA1S断电分开，向上运动结束。同时，驱动输出继电器Y14得电为ON，中间继电器K1J线圈得电，其常开触点闭合，使制动离合器YA1J线圈回路导通，制动离合器抱紧传动机构中的某一传动元件实现制动。待到达设定时间后，定时器T1映像寄存器的值为ON，常开触点闭合为ON，输出继电器Y14线圈回路断开，K1J线圈断电，制动离合器YA1J断电，制动结束。

向下运动的操作是按下SB9，辅助继电器M2得电，输出继电器Y5、Y11得电，Y11使负载中间继电器K1X线圈得电，常闭触点闭合，离合器YA1X得电闭合，Y5驱动KM6得电，使电动机M4转动，然后带动刀架向下运动，制动过程与向上运动一样。

向左运动的操作是按下SB10，辅助继电器M3得电，输出继电器Y5、Y12为ON，Y12使负载中间继电器K1Z线圈得电，其常闭触点闭合，离合器YA1Z得电闭合，Y5使KM6得电使电动机M4转动，然后带动刀架向下运动，制动时，输出继电器Y15得电，使负载中间继电器K1C线圈电路导通，其常开触点闭合，驱动YA1C制动离合器制动。向右运动与之类似。

当转换开关 SA1 悬空时，输入继电器 X41 为 OFF，辅助继电器 M1、M2、M3、M4 回路不能自锁，只能作点动调整控制。

（2）右立刀架

SA2 闭合，为右立刀架自动控制。

1）向上运动控制过程是：按下 SB14→输入继电器 X15 为 ON→辅助继电器 M5 线圈得电并自锁→输出继电器 Y16 为 ON→中间继电器 K2S 线圈得电→ 向上运动离合器 YA2S 得电闭合→定时器 T5 线圈得电计时→到设定时间后→T5 触点驱动输出继电器 Y6 为 ON→接触器 KM7 线圈得电→电动机 M5 转动。

2）向下运动控制过程：按下 SB15→输入继电器 X16 为 ON→辅助继电器 M6 得电并自锁→输入继电器 Y17 为 ON→中间继电器 K2X 线圈得电→向下运动离合器 YA2X 得电闭合→定时器 T5 得电计时→到设定时间后→T5 触点驱动输出继电器 Y6 为 ON→接触器 KM7 线圈得电→电动机 M5 转动。

3）制动时，按下停止按钮 SB13→输入继电器 X14 为 ON→逻辑元件 M5、M6、M7、M8、T5、Y16、Y17、Y20、Y21、Y6 断电→输出继电器 Y22 线圈为 ON→中间继电器 K2J 线圈得电→制动离合器 YA2J 得电制动→到设定时间后断电。

左右运动控制类似，不再叙述。

（3）侧立刀架

SA3 闭合，为侧立刀架自动控制。

1）向左运动控制过程：按下 SB21→输入继电器 X24 为 ON→辅助继电器 M11 得电并自锁→输出继电器 Y26 为 ON→中间继电器 K3Z 线圈得电→向左运动离合器 YA3Z 得电闭合→定时器 T6 得电计时→到设定时间后→T6 触点驱动输出继电器 Y7 为 ON→接触器 KM8 线圈得电→电动机 M6 转动。

2）向右运动控制过程：按下 SB22→输入继电器 X25 为 ON→辅助继电器 M12 得电并自锁→输出继电器 Y27 为 ON→中间继电器 K3Y 线圈得电→向右运动离合器 YA3Y 得电闭合→定时器 T6 得电计时→到设定时间后→T6 触点驱动输出继电器 Y7 为 ON→接触器 KM8 线圈得电→电动机 M6 转动。

3）制动时，按下停止按钮 SB18→输入继电器 X21 为 ON→逻辑元件 M9、M10、M11、M12、T6、Y24、Y25、Y26、Y27、Y7 断电→输出继电器 Y31 线圈为 ON→中间继电器 K3C 线圈得电→制动离合器 YA3C 得电制动→一定时间后断电。

上、下运动控制类似，不再叙述。

（4）制动离合器制动断电延时改造说明

去掉制动过程的断电延时时间继电器 KT1、KT2、KT3，用 PLC 逻辑元件实现断电延时功能的原理是：当对应电动机的接触器控制用输出继电器断电，如左立电

动机制动时，输出继电器 Y5 逻辑回路断开，利用其脉冲的下降沿和 PLF 指令，使辅助继电器 M20 产生一个周期的脉冲，将辅助继电器 M21 置位为 ON，M21 驱动定时器 T1 开始计时，同时，由于辅助继电器 M1、M2、M3、M4 断电，取反后，输出继电器 Y14 线圈逻辑回路导通，Y14 为 ON，驱动制动离合器 YA1J 线圈电路接通，产生制动力进行制动，待定时时间到，定时器 T1 的触点动作，常开触点为 ON，驱动辅助继电器 M21 复位为 OFF，此时 Y14 回路断开，T1 线圈断电，制动结束。

第2章　钻　　床

2.1　Z3040摇臂钻床电气控制解析

2.1.1　Z3040的工艺特点与控制要求

1.Z3040的工艺特点

钻床为孔加工机床，按结构形式不同，有立式钻床、卧式钻床、深孔钻床以及摇臂钻床等。摇臂钻床是机械加工中常见的机床，它适用于单件或者批量生产中带有多孔的零件加工。钻床可以进行多种形式的加工，如钻孔、镗孔、铰孔及攻螺纹。因此要求钻床的主运动和进给运动有较宽的调速范围。摇臂钻床适合在大、小型零件上进行钻孔、扩孔、铰孔及攻螺纹等工作，在具有工艺装备的条件下还可以进行镗孔。

钻削加工时，主轴旋转运动带动刀具旋转为主运动，而主轴的直线移动为进给运动。当进行钻孔加工时，钻头一面旋转运动，一面纵向进给运动。此时，主轴箱应通过夹紧装置紧固在摇臂的水平导轨上，摇臂与外立柱也应通过夹紧装置紧固在内立柱上。摇臂钻床主要的运动包括主运动进给运动和辅助运动，辅助运动包括摇臂沿外立柱的垂直移动、主轴箱沿摇臂的径向移动以及摇臂与外立柱相对于内立柱的回转运动。另外，还需要考虑主轴箱、摇臂、内外立柱的夹紧和松开。

Z3040摇臂钻床主轴的调速范围为50∶1，正转最低转速为40r/min，最高为200r/min，进给范围为0.05～1.60mm/r，它的调速是通过三相交流异步电动机和变速箱来实现的。也有采用多速异步电动机拖动的，这样可以简化变速机构。

摇臂钻床的主轴旋转运动和进给运动由一台交流异步电动机拖动，主轴的正、反向旋转运动是通过机械转换实现的，故主电动机只有一个旋转运动。

摇臂的上升、下降由一台交流异步电动机拖动，立柱的夹紧和放松由另一台交流异步电动机拖动。Z3040摇臂钻床是通过电动机拖动一台齿轮泵，供给夹紧装置所需要的压力油。而摇臂钻床的回转和主轴箱的左、右移动通常采用手动。此外，还有一台冷却泵电动机对加工的刀具进行冷却。

2.摇臂钻床电气控制要求

摇臂钻床的工作特性与电力拖动控制要求如下：

1）一般为了简化机床传动装置，常采用多电动机拖动。

2）主轴的旋转运动、纵向进给运动及其变速机构都通过主轴箱的一台异步电动机进行拖动。

3）为了适应多种加工方式的要求，主轴的旋转与进给运动均有较大的调速范围，一般情况下由机械变速机构来实现，有时采用可变极调速的异步电动机来简化变速箱的结构设计。

4）加工螺纹时，要求主轴能够正、反向旋转，若采用机械方法来实现，则拖动主轴的电动机只需要单向旋转。

5）摇臂的升、降由升降电动机拖动，也要求电动机能够正、反向旋转，一般也采用交流电动机配合正、反转控制电路来实现。

6）内外立柱、主轴箱与摇臂的夹紧与松开，采用手柄机械操作、电气—机械装置、电气—液压装置、电气—液压—机械装置等控制方法。Z3040 摇臂钻床通过控制电动机的正、反转带动液压泵，由夹紧机构的夹紧与松开送出不同流向的液压油，推动活塞往复运动，因此，要求拖动液压泵的电动机能够正、反转。

7）摇臂钻床主轴箱、立柱的夹紧与松开由一条油路控制，且能同时动作。而摇臂的夹紧、松开是与摇臂升降工作连成一体，由另一条油路控制。根据钻床工作要求，通过控制电磁铁操纵两条油路，使其中一条处于工作状态，并且主轴箱和立柱的夹紧、松开动作用点动操作即可，所以液压泵电动机采用点动控制。

2.1.2　Z3040 电路控制分析说明

1. 主电路

Z3040 电路中的主电路、控制电路、信号电路的电源均采用低压断路器引入，交流接触器 KM1 控制主电动机 M1 接通或断开，FR1 为主电动机过载保护用热继电器。摇臂的升降、立柱的夹紧与放松都要求电动机正、反转，所以 M2 和 M3 电动机分别有两个接触器，它们为 KM2、KM3 和 KM4、KM5。摇臂升降电动机 M2 和冷却泵电动机 M4 均为短时工作，不设过载保护。Z3040 电气控制原理图如图 2-1 所示，其中包括的电气元件见表 2-1。

表 2-1　Z3040 电气元件目录表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	主电动机	SA1	冷却泵电动机电源转换开关
M2	摇臂升降电动机	SA2	主轴箱、立柱松开、夹紧用转换开关
M3	液压电动机	SQ1、SQ2	摇臂限位行程开关
M4	冷却泵电动机	SQ3、SQ4	主轴箱、立柱夹紧用行程开关
KM1	M1 控制接触器	SQ5	摇臂下限位行程开关
KM2、KM3	摇臂上升接触器	SB1、SB2	主电动机起停控制按钮
KM4、KM5	主轴箱、立柱、摇臂放松与夹紧控制接触器	SB3、SB4	摇臂升、降控制按钮
YA	二位六通阀电磁铁	SB5、SB6	主轴箱、立柱松开与夹紧按钮
KT	断电延时时间继电器	HL1～HL3	工作状态指示信号灯
FR1～FR3	M1、M2、M3 电动机过载保护用热继电器	TC	控制变压器

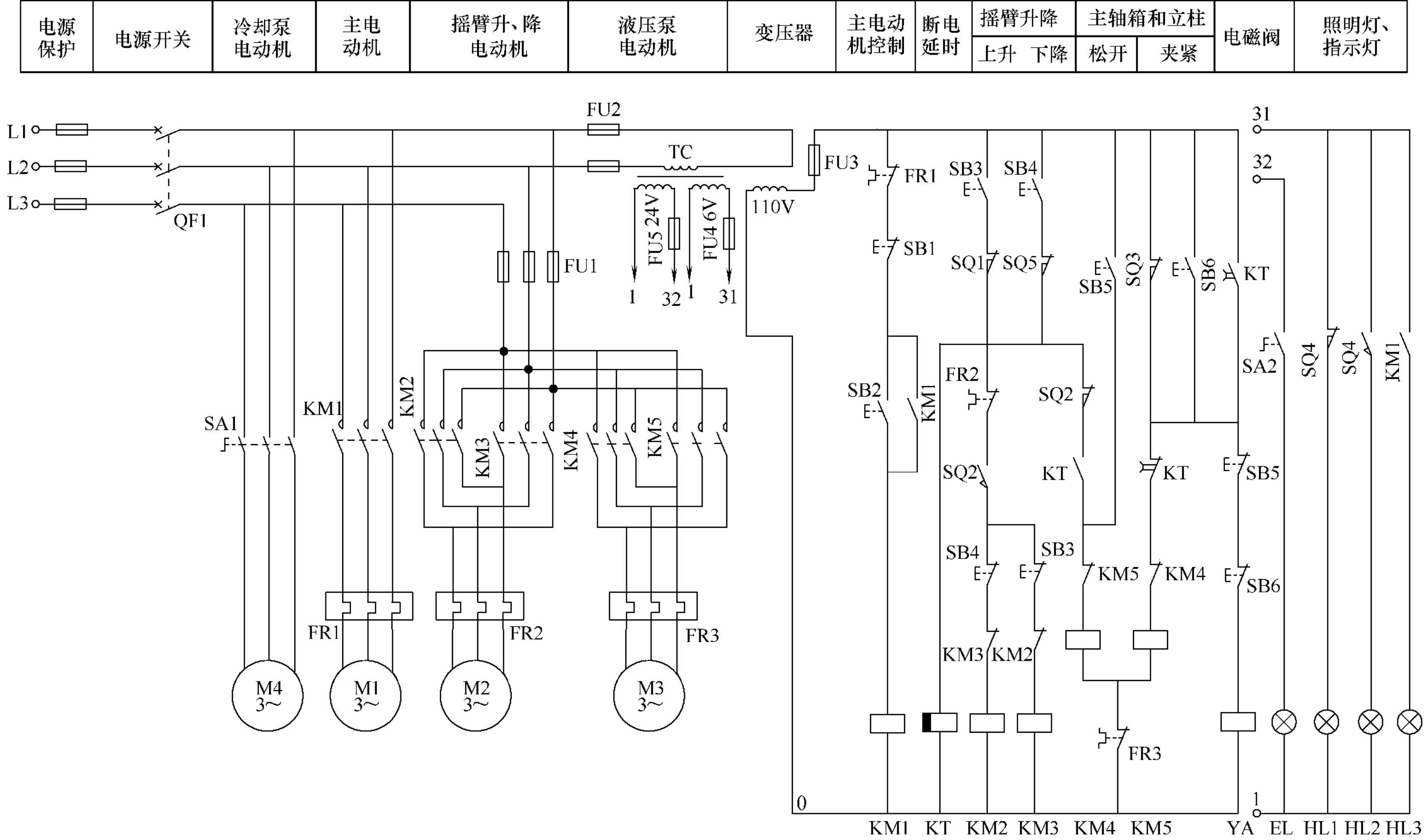


图 2-1 Z3040电气控制原理图

2. 控制电路、信号及照明电路

控制电路的电源由控制变压器 TC 二次输出电压 110V 供电，为接触器线圈负载提供电源，指示灯采用6V 电压供电，二位六通电磁换向阀电磁铁采用 110V 供电，照明电源 36V。

(1) 主电动机的旋转控制

在主电动机起动前，首先将低压断路器 QF1 扳到接通状态，同时将配电盘的门关好并锁上。当按下按钮 SB2 时，交流接触器 KM1 线圈通电并自锁，使主电动机旋转，同时主电动机旋转的指示灯 HL4 亮。主轴的正转和反转用手柄通过机械变换的方法来实现。

另外，冷却泵电动机功率小，主电路直接用转换开关 SA1 控制起停，无需控制电路。

M2 为升降电动机，由按钮 SB3、SB4 点动控制接触器 KM2、KM3 接通或者断开，使 M2 实现正、反转，拖动摇臂上升或者下降。

M3 为液压泵电动机，通过接触器 KM4、KM5 接通或者断开，实现正、反转运动，由二位六通电磁换向阀实现摇臂夹紧机构的控制。

(2) 摇臂的升、降控制

摇臂钻床在加工时，要求摇臂必须处于夹紧状态，这样才能保证加工精度，但在摇臂升、降时，要求摇臂处于松开状态，否则，电动机负载大，机械磨损严重，无法完成升降工作。所以，摇臂上升或下降时，其动作过程是，先使摇臂与外立柱松开，然后上升或下降，待升或降到位后，又自行重新夹紧。松开与夹紧是由液压系统来完成的，因此升、降控制必须与液压夹紧机构紧密配合。

当按下按钮 SB3，时间继电器 KT1 通电吸合，它的瞬动动合触点闭合使 KM4 线圈通电，换向电磁阀的电磁铁 YA 得电，液压泵电动机 M3 起动，供给压力油，经分配阀体进入摇臂的松开油腔，推动活塞使摇臂松开。松开到位后，活塞通过弹簧片使行程开关 SQ2 的动断触点断开，KM4 线圈断电，而 SQ2 的动合接触闭合，KM2 线圈得电，它的主触点闭合，M2 电动机旋转使摇臂上升。

如果摇臂没有松开，SQ2 的动合触点不能闭合，摇臂升降电动机不能转动，这样就保证了只有摇臂的可靠松开后方可使摇臂上升或下降。

当摇臂上升到所需要的位置时，松开按钮 SB3，使 KM2 和 KT1 断电，升降电动机 M2 断电停止，摇臂停止上升。此时，由于时间继电器 KT1 线圈断电，瞬动常闭触点立即闭合，夹紧行程开关 SQ3 的常闭触点闭合，使接触器 KM5 线圈得电，液压泵电动机反转，压力油经过换向阀通过夹紧机构夹紧摇臂，当持续 1～3s 后，KT1 的断电延时闭合的动断触点断开，在行程开关 SQ3 被压下，表明夹紧机构已经夹紧摇臂，KM5 和 YA 线圈断电，M2 电动机停止，完成了摇臂的松开→上升→夹紧动作。

摇臂升降电动机的正转与反转不能同时进行，否则将造成电源两相间的短路。为避免操作错误造成事故，在摇臂上升和下降的线路中加入了触点互锁和按钮互

锁。因为摇臂的上升和下降是短时的调整工作,所以采用点动方式。

行程开关SQ1和SQ5是为摇臂上升和下降的极限位置保护而设立的。SQ1是摇臂上升时的极限位置保护,SQ5是摇臂下降时的极限位置保护。行程开关SQ3的动断触点在摇臂可靠夹紧后断开。如果液压夹紧机构出现故障或SQ3调整不当,将造成液压泵电动机M3过载,它的过载保护热继电器的动断触点将断开,KM5释放,M3电动机断电停止。

(3)立柱和主轴箱的松开与夹紧控制

主轴箱与立柱的松开及夹紧由按钮SB5或SB6控制。SB5是主轴箱和立柱的松开按钮,SB6为主轴箱和立柱的夹紧按钮。下面以主轴箱的松开和夹紧为例说明它的动作过程:当主轴箱松开时,按下按钮SB5,使KM4通电,液压泵电动机正转使压力液压油经分配阀(二位六通阀)进入主轴箱液压缸,推动活塞使主轴箱放松。活塞杆使SQ4复位,主轴箱和立柱松开,指示灯HL2亮。当主轴夹紧时,按下按钮SB6,首先为YA1通电,KM5线圈通电,液压泵电动机反转,压力油经分配阀进入主轴箱液压缸,推动活塞使主轴箱夹紧。同时活塞杆使SQ4受压,其动合触点闭合,指示灯HL3亮,动断触点断开,指示灯HL2灭,指示主轴箱与立柱夹紧。

2.2　Z3040摇臂钻床电气控制PLC改造

2.2.1　Z3040改造说明与电路设计

根据Z3040摇臂钻床的工作过程和已有继电器控制的电气参数,选择FX1N可编程序控制器进行改造。首先考虑保证原有电气元件不变,不添加新的元件,主电路不变。PLC电源电压为交流220V,接触器线圈负载电源为交流110V。电磁铁线圈电源选择24V,指示灯采用6V电源,不同电源类型的负载使用不同的输出COM端口。采用继电器输出方式,结合输入、输出总点数,选用FX1N—40MR能够满足要求。

改造中,主要采用了以下几点措施:

1)负载电源类型多,选择FX1N输出端口数量较少的公共端,避免浪费输出点数。

2)输入端口数量有多余的,所以将热继电器的常闭触点连接到输出端,通过逻辑程序也能实现过载保护。

3)在PLC中只有积算定时器和非积算定时器,没有断电延时时间继电器,所以不能直接用PLC中的定时器来代替断电延时时间继电器KT。本节通过采用脉冲下降沿触发的方式来解决断电延时时间继电器的改造问题。

4)为了简化控制设计,将摇臂钻床升、降过程的状态利用辅助继电器M0来表示,使得程序中的逻辑关系更加清楚。

改造后的电气控制原理图如图 2-2 所示，元件分配情况见表 2-2。

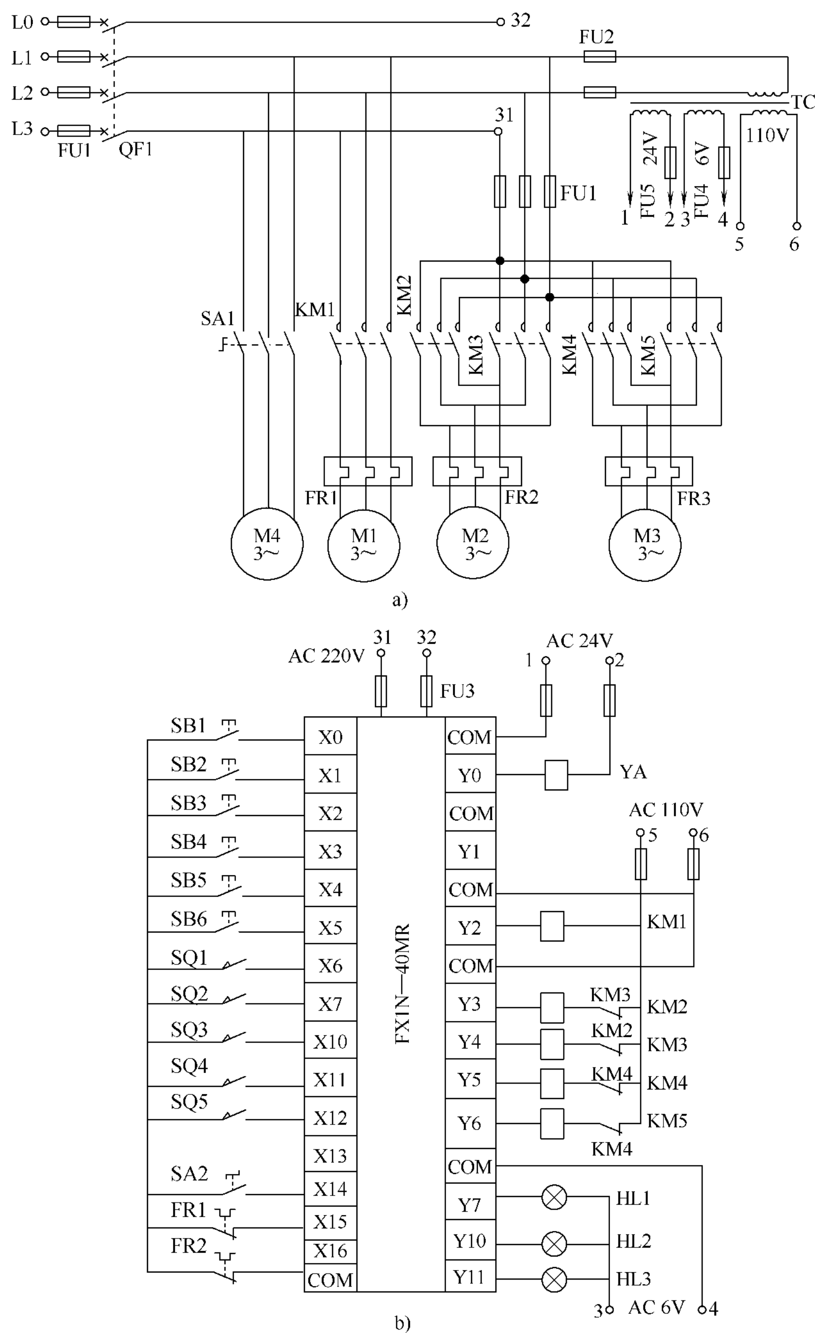


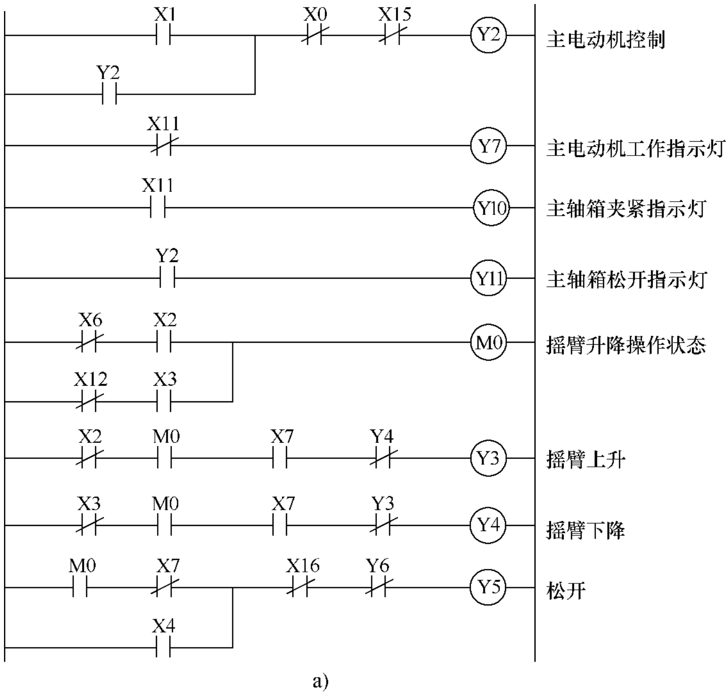
图 2-2　PLC 控制 Z3040 摇臂钻床电气控制原理图

表 2-2 电气元件和逻辑元件的分配表

电气元件	名称及用途	逻辑元件	电气元件	名称及用途	逻辑元件
SB1	总起动按钮	X0	KM1	主电动机接触器	Y2
SB2	主电动机起动按钮	X1	KM2	摇臂上升接触器	Y3
SB3	摇臂上升起动按钮	X2	KM3	摇臂下降接触器	Y4
SB4	摇臂下降起动按钮	X3	KM4	主轴箱、立柱、摇臂放松接触器	Y5
SB5	主轴箱、立柱松开按钮	X4	KM5	主轴箱、立柱、摇臂夹紧接触器	Y6
SB6	主轴箱、立柱夹紧按钮	X5	YA	主轴箱放松、夹紧用电磁铁	Y0
SQ1	摇臂上限位用行程开关	X6	HL1	主电动机工作状态指示信号灯	Y7
SQ2	摇臂夹紧、放松用行程开关	X7	HL2	夹紧状态信号灯	Y10
SQ3	摇臂夹紧用行程开关	X10	HL3	松开状态信号灯	Y11
SQ4	立柱夹紧、放松指示用行程开关	X11	FR1	M1 电动机过载保护用热继电器	X15
SQ5	摇臂下限位行程开关	X12	FR2	M3 电动机过载保护用热继电器	X16

2.2.2 Z3040 程序设计与说明

根据 Z3040 的控制要求和继电器—接触器的控制逻辑，结合 PLC 的端口分配，设计的 PLC 控制程序如图 2-3 所示。



a)

图 2-3 PLC 改造 Z3040 控制梯形图

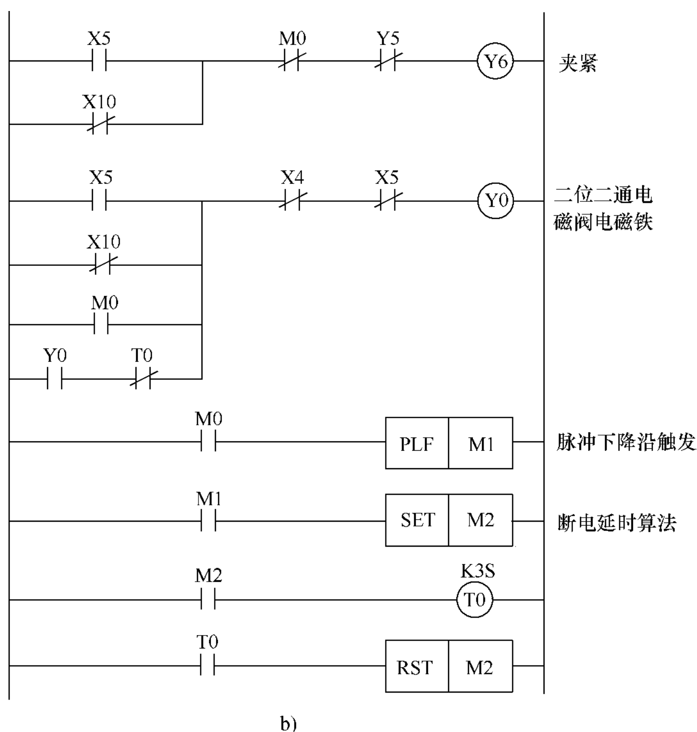


图 2-3　PLC 改造 Z3040 控制梯形图(续)

1. 主电动机的控制

按下按钮 SB2,输入继电器 X1 得电为 ON,驱动输出继电器 Y2 线圈逻辑回路闭合,Y2 为 ON,驱动外部负载接触器 KM1 线圈回路闭合得电,产生电磁力,接触器主触点闭合,接通主电动机 M1 主电路,M1 转动,带动刀具旋转加工零件。同时 Y2 触点驱动输出继电器 Y11 逻辑回路导通,Y11 为 ON,驱动外部指示灯 HL3 电路闭合,指示灯亮,表明主轴在旋转工作。

2. 摇臂的升降控制

按下上升按钮 SB3,则输入继电器 X2 为 ON,驱动辅助继电器 M0 逻辑回路闭合,进入摇臂升降状态,M0 驱动输出继电器 Y5 逻辑回路导通,Y5 为 ON,驱动接触器 KM4 的电路闭合,线圈得电,液压泵电动机正转,同时输出继电器 Y0 线圈回路闭合导通,驱动电磁换向阀的电磁铁得电,压力油经过电磁阀流入夹紧液压缸中,液压缸活塞推动菱形块,松开摇臂,当活塞运动到一定位置,弹簧片压下行程开关 SQ2,输入继电器 X7 得电为 ON。在梯形图中,由于输入继电器 X2、X3 构成了互锁关系,所以当 X2 为 ON 时,输出继电器 Y3 回路不能导通,当 X7 为 ON 后,Y4 导通,使接触器 KM3 线圈回路闭合得电,主触点闭合,升降电动机正转,摇臂

上升。当上升超过上极限位置时,压下行程开关 SQ1,X6 为 ON,M0 线圈转换为 OFF,Y4 线圈断电为 OFF ,接触器 KM3 断电,就不能再向上移动了。

到达一定位置后,松开按钮 SB3,则输入继电器 X2、辅助继电器线圈 M0、输出继电器 Y3、Y4、Y5 线圈均变为 OFF,接触器 KM2、KM3、KM4 线圈回路断电,摇臂升降电动机停止转动,液压泵电动机停止正转。同时输出继电器线圈 Y6 回路导通,接触器 KM5 回路闭合,线圈得电,主触点闭合,反接液压泵电动机 M3 电路,M3 反转泵油,经过 YA 所在的二位六通阀,流入夹紧液压缸,使活塞推动夹紧机构夹紧。当夹紧后,SQ3 被压下,输入继电器 X10 得电为 ON,取反后使输出继电器 Y6 线圈回路断开,KM5 断电,液压泵电动机停止。M0 断开、KM5 工作的同时,M0 由 ON 变 OFF 的脉冲下降沿触发辅助继电器 M1,使辅助继电器 M2 置位,T0 开始计时,大约 3s 以后,M2 复位,T0 的常闭触点使输出继电器 Y0 线圈回路断开,YA 断电,实现延时断开油路,保证在摇臂上升或下降以后,能够被可靠夹紧。摇臂被固定在需要的位置上,使摇臂在加工工件前总是处于夹紧状态。

3. 主轴箱和立柱的松开、夹紧控制

当按下松开按钮 SB5,输入继电器 X4 为 ON,输出继电器 Y5 线圈逻辑回路闭合,Y5 为 ON,驱动接触器 KM4 线圈回路闭合得电,主触点闭合,接通液压泵电动机 M3 正转电路,通过夹紧机构,松开主轴箱或者立柱,当松开到一定程度后压动行程开关 SQ4,使输入继电器 X11 为 ON,输出继电器 Y10 线圈得电,驱动指示灯 HL2 亮,表明主轴箱处于松开状态。当按下按钮 SB6 时,则为夹紧过程,逻辑关系类似,不再叙述。

4. 断电延时时间继电器的改造

对于断电延时时间继电器 KT1,由于 PLC 中没有断电延时对应的逻辑元件,本例中将通电瞬动过程用中间继电器 M0 改造,不增加输入、输出点数,就能够体现摇臂上升或者下降的操作状态,用于驱动相应的接触器和电磁铁。在松开上升或下降按钮后,由 M0 的下降沿,触发 M1 产生一个周期的脉冲,使 M2 置位,并开始让 T0 计时,M2 的触点闭合,可以驱动其他逻辑元件,当 T0 计时时间到,则让 M2 复位,同时让 T0 的常闭触点断开 Y0 的逻辑回路,实现断电延时的控制过程。

2.3 Z5163 立式钻床电气控制分析

2.3.1 Z5163 的工艺特点与控制要求

1. 立式钻床简介

主轴竖直布置且中心位置固定的钻床,称为立式钻床,简称立钻。常用于机械制造和修配工厂加工中、小型工件的孔。

加工前，须先调整工件在工作台上的位置，使被加工孔中心线对准刀具轴线。加工时，工件固定不动，主轴在套筒中旋转并与套筒一起作轴向进给。工作台和主轴箱可沿立柱导轨调整位置，以适应不同高度的工件。

除有方柱立钻和圆柱立钻两种外，立钻还有排式、多轴、坐标和转塔等多种变型。①排式钻床：一般由 2～6 个立柱和主轴箱排列在一个公用底座上，各主轴顺次加工同一工件上的不同孔或分别进行各种孔加工工序，可节省更换刀具的时间，用于中、小批量生产。②多轴立钻：机床的多个主轴可根据加工需要调整轴心位置，由主轴箱带动全部主轴转动，进行多孔同时加工，用于成批生产。③坐标立钻是在方柱立钻的基础上加上可纵、横移动的十字工作台而成，可按坐标尺寸进行钻削。④转塔立钻：多采用程序控制或数字控制，使装有不同刀具的转塔头自动转位，主轴自动改变转速和进给量，工件自动调整位置，实现多工序加工的自动化循环。

2. Z5163 立式钻床的工艺特点

在金属切削机床中，Z5163 方柱立式钻床是用途广泛的万用型通用机床，可用于钻、扩、铰、锪平面及攻螺纹等工序，具有低工作台结构，卸下升降工作台可以加工超大工件，加工精度高等特点。适合加工零件尺寸较小、孔系简单的零件，因为它的主轴是不可以移动的，所以只能加工方便装卸的工件。

在钻床上加工工件时，工件不动、刀具的旋转为主运动，同时沿轴向上、下移动，完成进给运动。立式钻床由主轴箱、进给箱、主轴、工作台、立柱和底座等组成，主运动是由电动机经主轴箱驱动主轴旋转，进给运动可以机动也可以手动，机动进给时，由进给箱传来的运动通过小齿轮驱动主轴套筒上的齿条，使主轴随着套筒齿条作轴向进给运动；手动进给时，扳动手柄使小齿轮旋转，从而带动齿条上、下移动，完成手动进给。

3. 控制过程和要求分析

（1）电力拖动

Z5163 立式钻床配置 M1、M2、M3 三台三相异步电动机。其中 M1 为主电动机，带动主轴转动和实现上、下自动进给；M2 为主轴快速移动电动机，带动主轴箱上、下快速运动；M3 为冷却泵电动机。熔断器 FU1、FU2、FU3 分别对 M1、M2、M3 和控制电路起短路保护作用。热继电器 FR1、FR2、FR3 分别对 M1、M2、M3 起过载保护作用。

（2）控制要求

1）主电动机 M1 能够直接起动，同时还要求能够实现正、反两个方向旋转，并可对正、反两个方向进行电气制动控制。

2）能够实现包括手动操作钻孔和攻螺纹控制、钻孔半自动循环控制、攻螺纹半自动循环控制。

3）冷却泵 M3 在 Z5163 立式钻床进行钻孔、攻螺纹加工时工作，对加工零件

实施自动冷却；也可以根据需要，在加工时不工作。

4）主轴快速移动电动机为 M2，在正、反转后，由接触器 KM3 接通来自整流器 VC2 的直流电，实现能耗制动。

5）进给传动链由电磁离合器 YC 来接通和分离主电动机的转动，实现自动进给。快速进给时，应先断开电磁离合器。

2.3.2 Z5163 电路控制分析说明

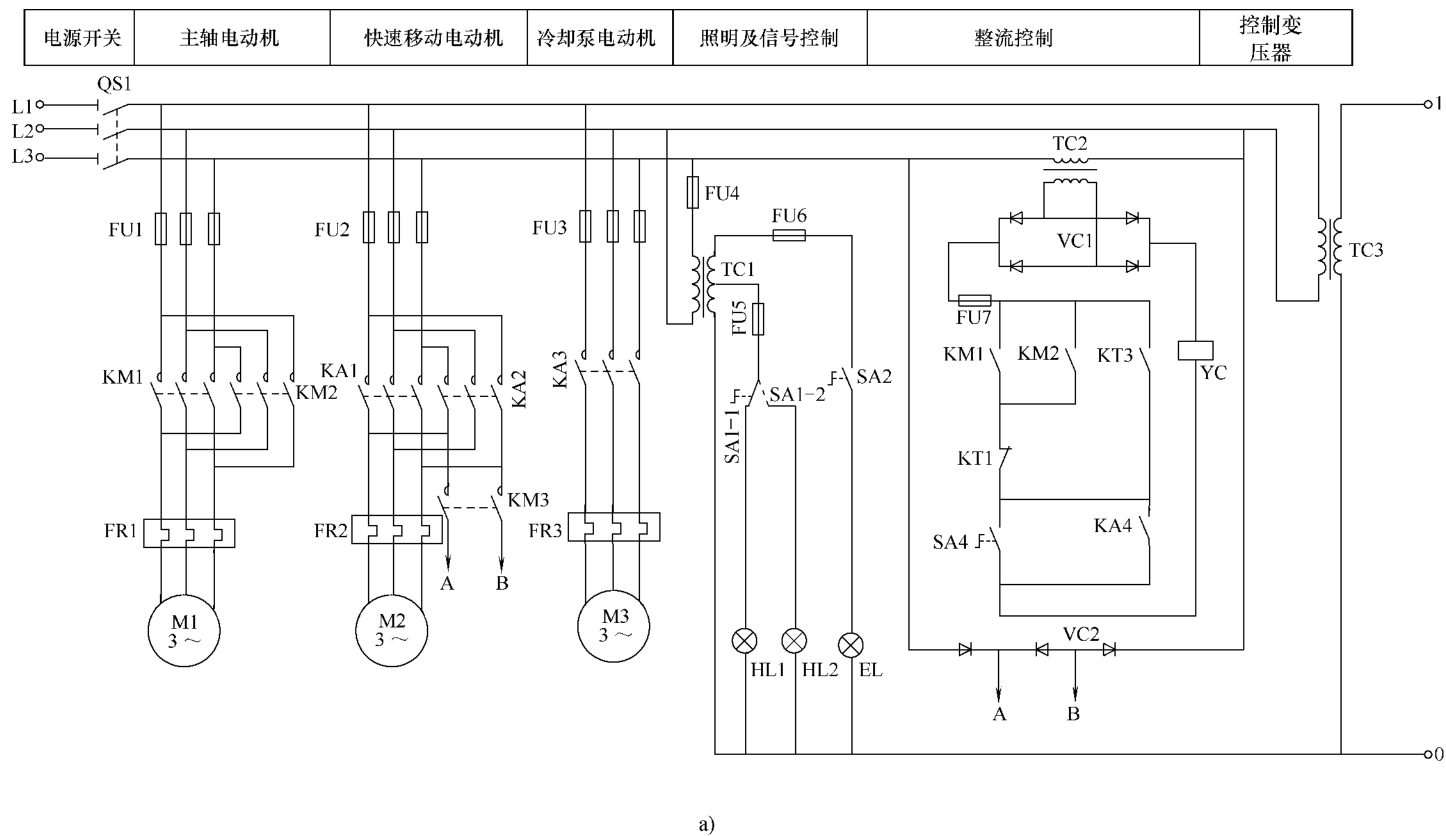
Z5163 立式钻床的电气控制系统电路图如图 2-4 所示，所用的电气元件见表 2-3。下面分析其工作过程。

表 2-3 Z5163 电气元件表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	主电动机	HL1、HL2	手动操作指示灯
M2	主轴快速移动电动机	YC	进给电磁离合器线圈
M3	冷却泵电动机	VC1、VC2	桥式全波整流器
KM1、KM2	主电动机正、反转接触器	SA1-1、SA1-2	手动、自动切换开关
KM3	能耗制动接触器	KA4	半自动循环中间继电器
KT1	断电延时时间继电器(能耗制动用)	SQ1	原位行程开关
KT2	通电延时时间继电器(加工结束时用)	FU1～FU7	熔断器
KT3	断电延时时间继电器(攻退结束时用)	SQ2	快进终点行程开关
KA1、KA2	主轴上、下快速移动中间继电器	SQ3	钻孔和攻螺纹结束位置行程开关
KA3	冷却泵电动机中间继电器	SB1	总停按钮
FR1～FR3	M1、M2、M3 过载保护热继电器	SB2、SB4	主轴快速上、下按钮
SA2	攻螺纹、钻孔切换开关	SB3、SB5	主轴正、反转按钮
TC1～TC3	变压器	—	—

1．主电路分析

钻床的电源采用三相 380V 交流电源，由隔离开关 QS1 引入，主电路中包含三台电动机的驱动电路。交流接触器 KM1、KM2 分别控制主电动机 M1 的正转和反转；主轴快速移动电动机 M2 由中间继电器 KA1、KA2 控制其快速向上、向下移动，在快速电动机停止时，接通 KM3，将直流电接入到交流电动机的定子绕组中实现能耗制动；冷却泵电动机 M3 的起动与停止由中间继电器 KA3 控制，在自动循环过程中，可以自动接通与断开，在手动状态和不需要切削液时，可以手动控制其开关。



a)

图 2-4　Z5163 立式钻床的电气控制系统电路图

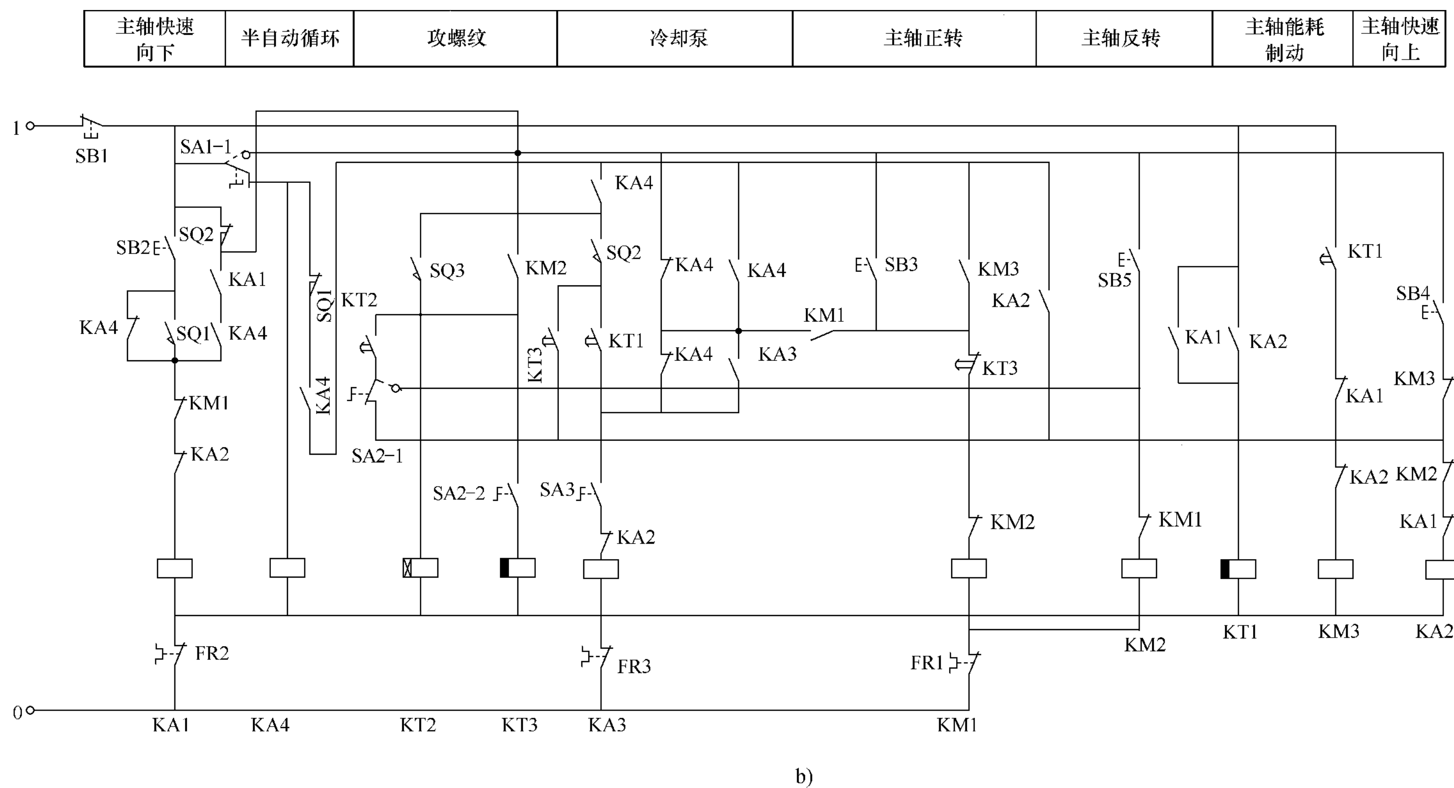


图 2-4　Z5163立式钻床的电气控制系统电路图(续)

2. 控制过程说明

Z5163立式钻床控制电路如图2-4b所示。380V交流电源经熔断器FU3加至控制变压器TC3一次绕组端，经降压后输出110V交流电压给控制电路供电。此外，照明指示灯、操作信号电路指示灯以及整流电路分别由变压器TC1、TC2供电。

Z5163立式钻床根据需要可以在生产效率要求不高时实现手动钻孔；也可以在生产效率要求高时，将工件装夹好以后实现自动进给加工，按照钻孔或者攻螺纹循环的需要自动加工，由于工件的装卸不能实现自动，所以只能叫做半自动循环。下面分别介绍Z5163立式钻床的三种操作控制方式。

（1）手动操作钻孔和攻螺纹

将转换开关（SA1-1、SA1-2）扳至“手动”位置（图中虚线位置），因SA1-2闭合，使得手动操作指示灯HL1亮。根据需要选择转换开关SA2-1、SA2-2和SA3，SA4扳至闭合进刀位置，为操作做好准备。

按下按钮SB3，接触器KM1得电吸合并自锁，其自锁电路为：SB1常闭→SA1-1→KA4常闭→KM1辅助常开触点→KT3的瞬动常闭触点→KM2互锁常闭触点→KM1线圈。主轴电动机M1正常起动运转（正转），钻床主轴正向转动。同时，进给电磁离合器线圈YC得电，其电路为：从整流器VC1正极→KM1常开触点→KT1的瞬动常闭触点→SA4常开触点→YC线圈→回到VC1的负极。YC得电，离合器闭合，接通从主电动机到进给主轴套筒齿条的传动链，实现钻削过程中的自动进给。

按下按钮SB5，接触器KM2得电吸合，主轴电动机M1反向起动运转，钻床主轴反向起动运转。KM2常开触点闭合，通电延时时间继电器KT2线圈得电，KT2的常开延时闭合触点延时闭合，KM2延时自锁，其自锁电路为：SB1常闭触点→SA1-1→KM2的辅助常开触点→KT2的延时闭合常开触点→SA2-1→KM1互锁常闭触点→KM2线圈。

按下急停按钮SB1，接触器KM1或KM2失电释放，主轴电动机M1停止运转。此时按下主轴快速上移按钮SB4，中间继电器KA2得电吸合，快速移动电动机M2反向起动运转，主轴快速向上移动。松开按钮SB4时，KA2得电释放，M2停止运转，主轴快速上移停止。当按下主轴快速下移按钮SB2时，中间继电器KA1得电吸合，快速移动电动机M2正向起动运转，主轴快速向下移动。同理，松开按钮SB2时，M2停止运转，主轴停止。此过程均采用点动控制。

（2）钻孔半自动循环

将转换开关（SA1-1、SA1-2）扳至“半自动循环”位置（图中实线位置），因SA1-1闭合接通半自动循环指示灯，HL2亮。合上开关SA2-2，将开关SA2-1扳至“钻孔”位置（图中实线位置），开关SA4可在任意位置，因SA1-1闭合，使其中间继电

器 KA4 得电，同时中间继电器 KA4 接通，其常开触点闭合，常闭触点断开，并为半自动循环做好准备。

半自动钻孔的自动循环过程是：主轴箱在原点，按下起动按钮→主轴快速向下移动→距离工件表面一定距离时，停止快进，并制动快速移动电动机 M2→钻头转动，并自动进给钻孔→钻孔结束，延时停止→快速移动电动机反转→钻头快速后退向上→到达原点，快速移动电动机制动停止。下面分别介绍各环节的控制：

1）快速向下。当主轴箱在原位时，行程开关 SQ1 压下，此时按下按钮 SB2，中间继电器 KA1 得电吸合并自锁，其自锁回路为：SB1 常闭触点→SQ2 常闭触点→KA1 自锁触点→KA4 常开→KM1 常闭触点→KA2 常闭互锁触点→KA1 线圈。快速移动电动机 M2 正向起动运转，钻床主轴快速下行。

同时，时间继电器 KT1 得电吸合，为电动机 M2 的停车能耗制动做好准备。主轴下行到距离工件表面一定距离（可以根据工件尺寸调整，一般为 3～5mm），这时，压合行程开关 SQ2。

2）向下制动停止。SQ2 被压下，使中间继电器 KA1 失电释放，同时时间继电器 KT1 释放，KA1 常闭触点使接触器 KM3 得电吸合，其主触点闭合，将 VC2 整流后的直流电接入电动机 M2 的定子绕组中，进行能耗制动；KM3 的电路为：SB1→KT1 的延时触点闭合（KT1 线圈得电时）→KA1 常闭触点→KA2 常闭触点→KM3 线圈。

由于 KA1 断电，则时间继电器 KT1 线圈断电，KT1 是断电延时型时间继电器，其延时触点将延时动作，在 KM3 回路中的 KT1 延时触点将延时断开，使接触器 KM3 释放，能耗制动结束。

3）钻头自动加工。在 KM3 得电时，其常开触点闭合，自动接通接触器 KM1 线圈电路并自锁，其自锁电路是：SB1 常闭触点→SA1-1→SQ1 常闭→KA4 常开→KA4 常开→KM1 常开→KT3 瞬动常闭→KM2 互锁常闭触点→KM1 线圈。主轴电动机 M1 正向起动运转，同时 KM1 的辅助常开触点闭合使电磁离合器 YC 吸合，接通进给传动链，自动进给。

此外，行程开关 SQ2 被压合时，中间继电器 KA3 得电吸合，得电电路为：SB1 常闭→SA1-1 实线→SQ1 常闭→KA4 常开→KA4 常开→SQ2 常开→KT1 辅助常开→SA3→KA2 常闭触点→KA3 线圈。冷却泵电动机 M3 起动运转，供给切削液。KA3 同时还自锁，自锁回路为：SB1 常闭→SA1-2→SQ1 常闭→KA4 常闭→KA4 常闭→KA3 自锁常开触点→KA3 线圈。冷却泵电动机转动，为钻孔提供切削液。

4）钻孔结束，快速返回。钻孔达到要求深度时，行程开关 SQ3 被压合（根据工件尺寸调整），接通时间继电器 KT2 线圈回路电源，KT2 为通电延时时间继电器，其常开触点延时闭合；使得中间继电器 KA2 线圈延时吸合，其得电电路为：

SB1 常闭触点→SA1-2→SQ1 常闭触点→KA4 常开触点→KA4 常闭触点→SQ3 常开触点(此时压下闭合)→KT2 延时闭合的常开触点→SA2-1→KM2 常闭触点→KA1 常闭→KA2 线圈。使电动机 M2 旋转带动主轴快速向上移动。

在向上快速退回之前,中间继电器 KA2 的常开触点闭合,使时间继电器 KT1 又得电吸合,为能耗制动做好了准备;KT1 的瞬动常闭触点断开,使 YC 断电,将进给传动链先行分开,然后才能快速向上运动。

5)结束停止。到行程开关 SQ1 被压合时,KT1、KM1 和 KA2 线圈均断电释放,电动机 M1 和 M2 断电。中间继电器 KA2 的常闭触点恢复闭合,KT1 的延时触点继续闭合(将延时断开),接触器 KM3 吸合,由整流器 VC2 提供的直流电通入电动机 M2 的定子绕组,使电动机 M2 快速停止运转,从而实现能耗制动控制,能耗制动时间由 KT1 的设定时间决定。

(3)攻螺纹半自动循环

将转换开关 SA1-1 和 SA1-2 扳至"半自动循环"位置(图中实线位置),SA2-2 闭合;再将 SA2-1 扳至攻螺纹位置(图中虚线位置);SA3 根据需要进行选择,SA4 置于适当位置,为操作做好准备。攻螺纹自动循环的控制过程与钻孔循环不同之处是,加工完毕以后,刀具不能快速退回,只能反转工退,当退出到工件表面以外时,再快速向上退回到原点。快进和工进过程与钻孔过程一样。下面介绍加工结束后的控制过程。

1)工退。攻螺纹结束,行程开关 SQ3 被压合时,时间继电器 KT2、KT3 吸合,KT2 的常开触点延时闭合,使接触器 KM2 得电吸合,其得电回路为:SB1 常闭触点→SA1-2→SQ1 常闭→KA4 常开→KA4 常开→SQ3 常开(压下闭合)→KT2 延时触点(延时闭合)→SA2-1→KM2 线圈。主轴电动机 M1 反向起动运转。KT3 为攻螺纹结束后主轴向上快速移动做好准备,丝锥从工件中退出。

2)快退向上。当丝锥从工件中退出后,会压下行程开关 SQ2,使 KM2 线圈断电,主电动机停止转动,电磁离合器 YC 断电分开;中间继电器 KA2 线圈电路得电吸合,其得电回路为:SB1 常闭触点→SA1-2→SQ1 常闭触点→KA4 常开触点→KA4 常开触点→SQ2 常开触点→KT3 延时断开的常开触点(已经闭合)→KM2 常闭触点→KA1 常闭触点→KA2 线圈。KA2 得电并自锁,快速移动电动机 M2 反向起动运转,使主轴向上快速移动。当快退到起点位置时,行程开关 SQ1 再次被压下,M2 断电并进行能耗制动控制,攻螺纹半自动循环结束。

2.4　Z5163 立式钻床电气控制 PLC 改造

2.4.1　Z5163 改造说明与电路设计

根据 Z5163 的工作过程和已有的继电器控制的电气参数,选择 FX2N 可编程

序控制器进行改造。首先考虑保证原有控制功能不变，不添加新的电气元件。主电路不变，PLC 电源电压为交流 220V，负载电源为交流 110V。输出端口采用继电器输出方式。

在改造中，主要考虑了如下几点措施：

1）主电路不变，指示灯、照明电路不变，快速移动电动机仍然采用能耗制动。

2）能耗制动过程中的断电延时时间继电器 KT1 取消，用 PLC 中的定时器 T1、辅助继电器 M0、M3 完成，在快速移动结束时，利用脉冲下降沿使辅助继电器 M0 产生一个周期的触发脉冲，接通定时器 T1 线圈逻辑回路，能耗制动开始，当定时时间超过 T1 的设定时间时，结束制动。

3)取消攻退结束后的断电延时时间继电器 KT3，用定时器 T3 来完成，在丝锥退出工件孔时开始定时，然后定时时间到，则起动快速后退动作。采用 PLC 的时间继电器和一定的控制算法来实现断电延时功能是可行的，另外可以提高定时精度。

4）电磁离合器 YC 不直接与 PLC 输出端口连接，其控制用中间继电器 KA4 实现，KA4 原来的作用用辅助继电器 M4 代替。

5）将手动加工程序与半自动循环加工程序分别用主控程序控制。

结合输入、输出总点数，选用 FX2N—32MR 能够满足要求。改造后的电气原理图如图 2-5 所示，元件分配情况见表 2-4。

表 2-4　PLC 端口分配表

电气元件	作　　用	逻辑元件	电气元件	作　　用	逻辑元件
SB1	总停控制	X0	SA4	转换开关	X14
SB2	主轴快速向下控制	X1	KA1	主轴向下快速移动中间继电器	Y0
SB3	主轴正转	X2	KA2	主轴向上快速移动中间继电器	Y1
SB4	主轴快速向上	X3	KA3	冷却泵控制中间继电器	Y2
SB5	主轴反转	X4	KA4	电磁离合器控制用中间继电器	Y3
SA1-1	手动与自动转换	X5	KM1	主电动机正转接触器	Y4
SA2-1	钻孔与攻螺纹转换	X6	KM2	主电动机反转接触器	Y5
SA3	冷却泵开关	X7	KM3	能耗制动接触器	Y6
SA2-2	攻螺纹	X10	—	半自动控制辅助继电器	M4
SQ1	原位行程开关	X11	—	能耗制动用定时器	T1
SQ2	快进终点行程开关	X12	—	工进结束用定时器	T2
SQ3	工进终点行程开关	X13	—	工退结束时用定时器	T3

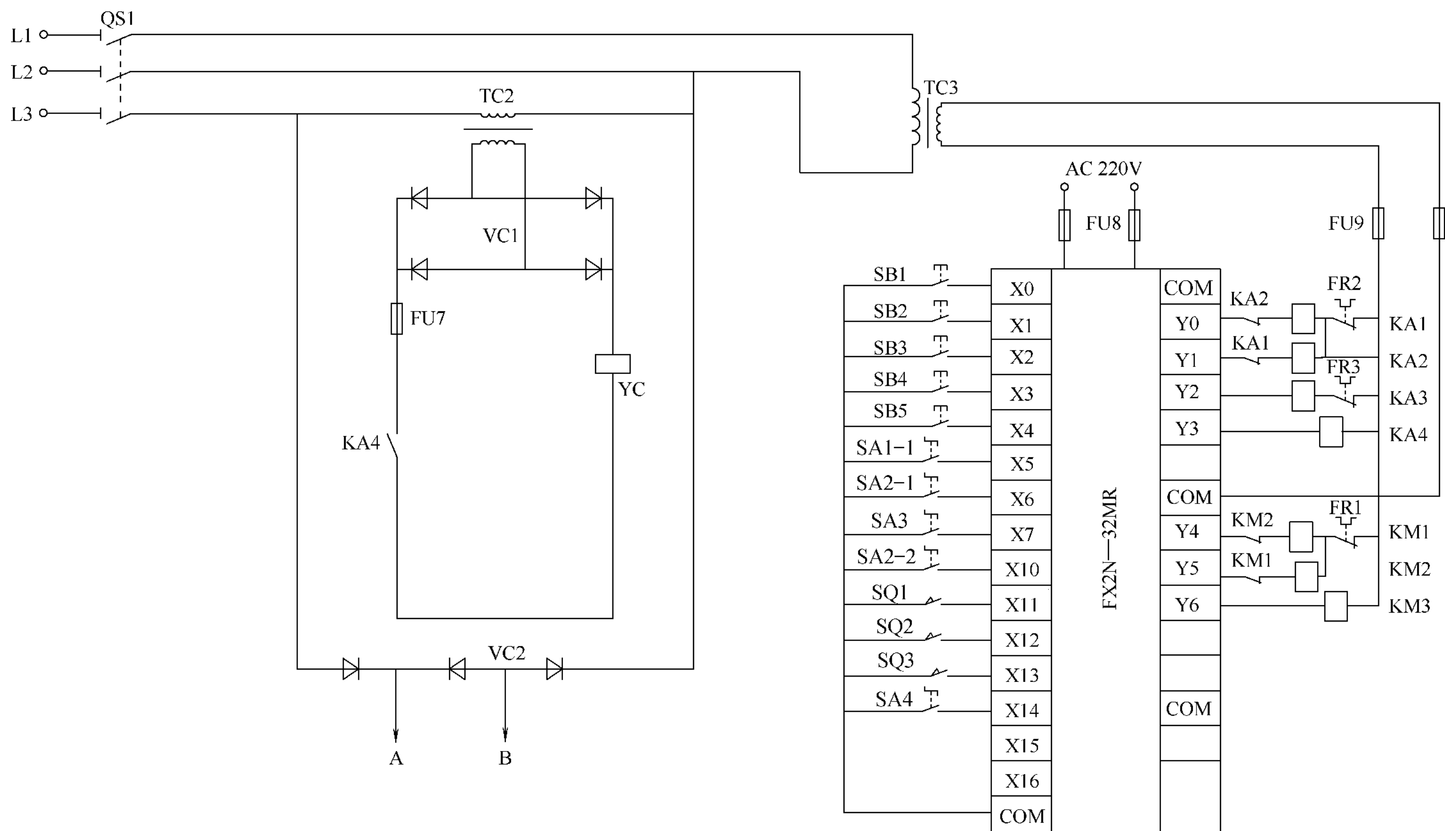
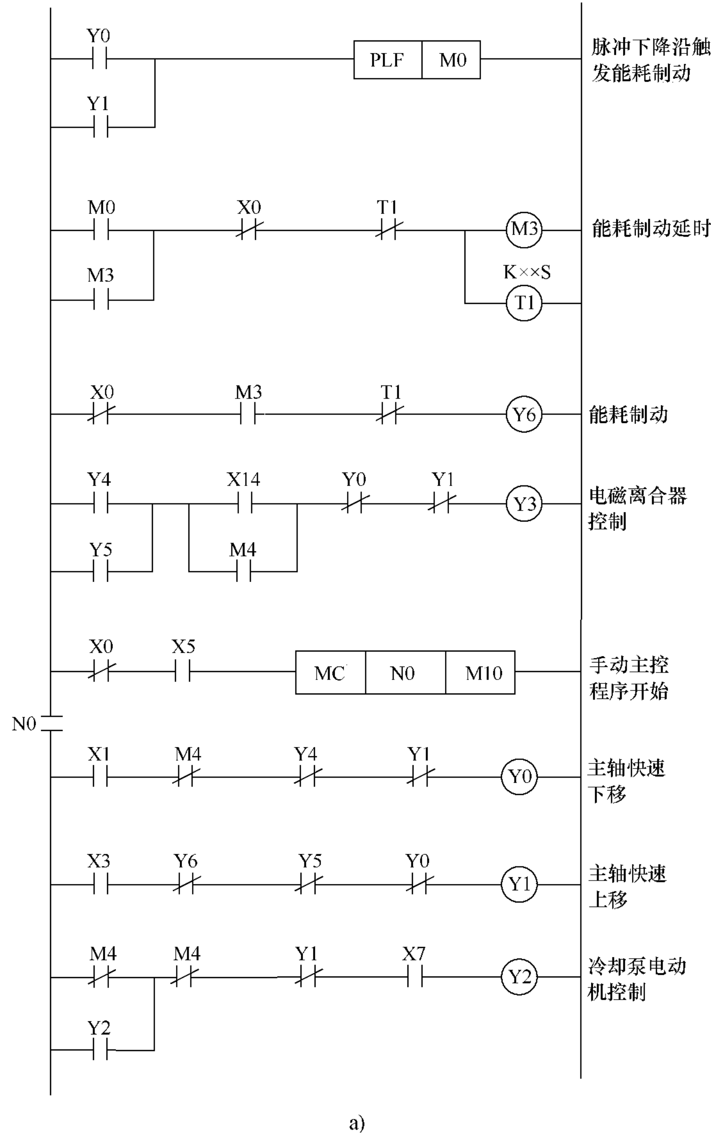


图 2-5 PLC 控制 Z5163 电气原理图

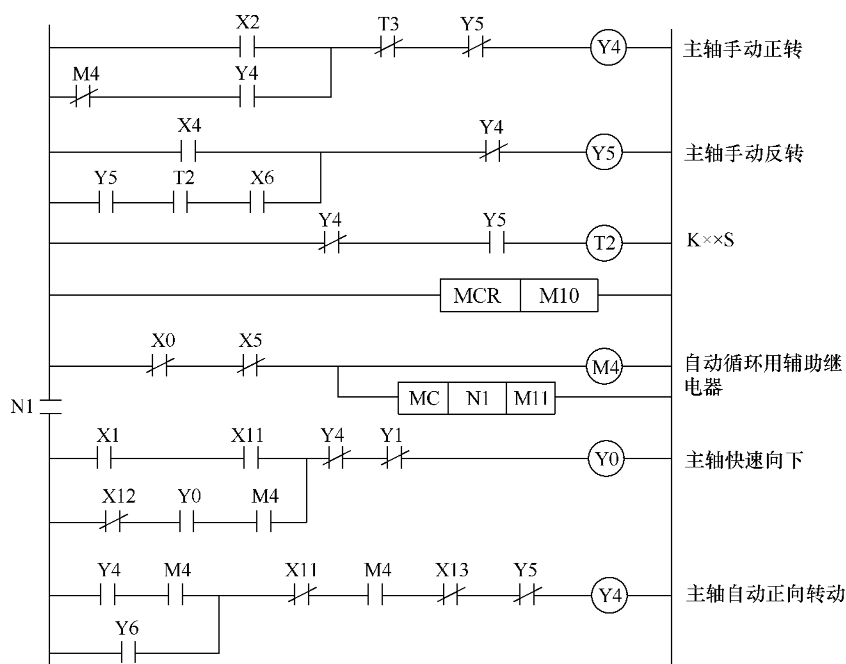
2.4.2　Z5163 程序设计与说明

根据 Z5163 的控制要求和继电器-接触器的控制逻辑，结合 PLC 的端口分配，设计改造的 PLC 控制程序如图 2-6 所示。

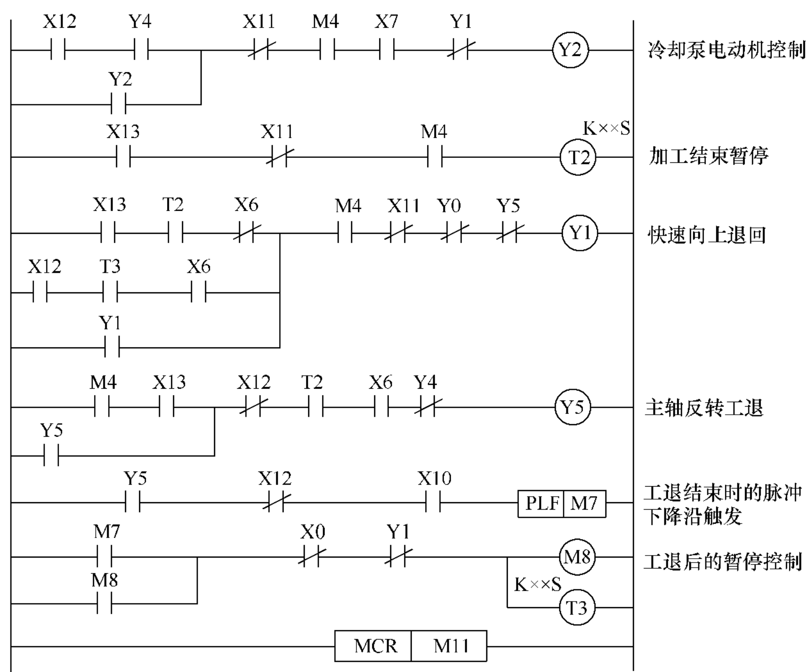


a)

图 2-6　PLC 控制 Z5163 梯形图



b)



c)

图 2-6 PLC 控制 Z5163 梯形图(续)

根据梯形图的逻辑关系，下面分析PLC的控制关系。

将转换开关SA1-1闭合，输入继电器X5为ON，主控指令使辅助继电器M10为ON，N0段主控程序能够被执行，此时的手动控制程序段工作；反之，若SA1-1断开，则输入继电器X5为OFF，则第二个主控指令使辅助继电器M11为ON，N1段主控程序能够被执行，此时的半自动加工程序段工作。系统只有手动和半自动两个工作状态，分别采用了两个主控程序段来控制。

（1）手动钻孔和攻螺纹

手动状态下，将转换开关SA4扳至闭合位置，输入继电器X14为ON，将自动控制的辅助继电器M4两端短接。转换开关SA2-1闭合，输入继电器X6为ON。

按下按钮SB3，输入继电器X2为ON，使输出继电器Y4逻辑回路导通，Y4为ON，驱动负载接触器KM1线圈得电，主电动机M1正向转动。M1带动钻头正转。同时，输出继电器Y4的常开触点为ON，输出继电器Y3线圈逻辑回路导通，Y3为ON，接通负载中间继电器KA4电路，KA4线圈得电，常开触点闭合，电磁离合器YC线圈得电，离合器结合，接通从电动机到进给套筒齿条的传动链，实现钻削过程中的自动进给。

按下按钮SB5，输入继电器X4为ON，使输出继电器Y5的逻辑回路导通，Y5为ON，驱动负载接触器KM2线圈得电吸合，主轴电动机M1反向起动运转，钻床主轴反向起动运转。如果按下时间较长，输出继电器Y5的常开触点为ON，先接通定时器T2的线圈回路，超过一定时间以后接通Y5的自锁分支，实现Y5的自锁，电动机M2能够长动，需要按下停止按钮才能让电动机停止下来；如果SB5按下时间不长，则只能实现点动反转。在主电动机反转时，输出继电器的常开触点也能够接通输出继电器Y3的逻辑回路，通过中间继电器KA4，电磁离合器YC线圈得电，实现钻头的向上退回。

按下急停按钮SB1，输入继电器X0为ON，经过取反后的触点为OFF，使主控条件为OFF，N0段程序将不能被执行，其中的输出继电器和时间继电器将被复位。Y4、Y5逻辑回路不能导通，对应的接触器KM1和KM2断开，主电动机M2停止转动。

主轴电动机M1停止运转时，输出继电器Y6、Y5都为导通，其取反后的常闭触点为ON，按下主轴快速上移按钮SB4，输入继电器X3为ON，使输出继电器Y1线圈的逻辑回路导通，驱动负载中间继电器KA2得电吸合，快速移动电动机M2反向起动运转，主轴快速向上移动。松开按钮SB4时，KA2得电释放，M2停止运转，主轴快速上移停止。

当按下主轴快速下移按钮SB2时，由于自动状态标志的辅助继电器M4为OFF，所以使输出继电器Y0线圈的逻辑回路导通，Y0为ON，驱动中间继电器KA1线圈得电，快速移动电动机M2正向起动运转，主轴快速向下移动。同理，松

开按钮 SB2 时，M2 停止运转，主轴向下移停止。此过程均采用点动控制。

（2）钻孔半自动循环

将转换开关 SA1-1 扳至“半自动循环”位置，即断开，对应的输入继电器 X5 为 OFF，转换开关 SA4 断开，X14 为 OFF，电磁离合器 YC 的控制由辅助继电器 M4 控制中间继电器 KA4 来实现。将转换开关 SA2 扳到自动循环状态，SA2-1 触点断开，输入继电器 X6 为 OFF，为半自动循环做好准备。

半自动钻孔的自动循环过程是：主轴箱在原点，按下起动按钮→主轴快速向下移动→距离工件表面一定距离时，停止快进，并制动快速电动机 M2→钻头转动，并自动进给钻孔→钻孔结束，延时停止→快速电动机反转→钻头快速后退向上→到达原点，快速电动机制动停止。

在将 SA1-1 至半自动工作状态时，辅助继电器 M4 为 ON，主控指令使 M11 为 ON，N1 程序段中的程序将被执行，而 N0 程序段中的程序将不工作。下面介绍半自动循环过程的程序控制情况。

1）快速向下。当主轴箱在原位时，行程开关 SQ1 压下，输入继电器 X11 为 ON，此时按下按钮 SB2，对应的输入继电器 X1 为 ON，驱动输出继电器 Y0 的逻辑回路导通，中间继电器 KA1 线圈得电并自锁，快速移动电动机 M2 正向起动运转，钻床主轴快速下行。

主轴下行到距离工件表面一定距离（可以根据工件尺寸调整，一般为 3～5mm）时，压下行程开关 SQ2，快速进给过程结束。但为了节约辅助时间，避免刀具在快速进给速度下切削工件，需要在快进结束时进行制动。

2）向下制动停止。压下行程开关 SQ2，输入继电器 X12 为 ON，Y0 的自锁回路断开，Y0 为 OFF，Y0 的脉冲下降沿使辅助继电器 M0 产生制动触发脉冲，辅助继电器 M3 的逻辑回路在 M0 脉冲的作用下导通为 ON 并自锁，定时器 T1 开始定时，M3 驱动输出继电器 Y6 线圈逻辑回路导通，Y6 为 ON，接触器 KM3 线圈电路得电，主触点闭合，快速电动机 M2 定子绕组中流入直流电进行能耗制动，速度迅速降低，当定时时间到达设定值，快速电动机的转速下降到接近零时，定时器 T1 的映像寄存器值为 ON（PLC 逻辑元件的状态都保存在对应的映像寄存器中），T1 的常闭触点为 OFF，使输出继电器 Y6 逻辑回路断开，KM3 线圈断电，能耗制动结束。该算法采用了 PLC 的定时器 T1 代替断电延时时间继电器 KT1。

3）钻头自动加工。输出继电器 Y6 为 ON，其常开触点使输出继电器 Y4 线圈的逻辑回路导通，由于此时为自动加工状态，辅助继电器 M4 为 ON，Y4 回路自锁，自动接通接触器 KM1 线圈电路，主轴电动机 M1 正向起动运转，钻头对工件孔进行钻削加工，同时 Y4 的常开触点接通了输出继电器 Y3 线圈的逻辑回路，Y3 为 ON，驱动中间继电器 KA4 线圈得电，常开触点闭合，使电磁离合器 YC 得电吸合，接通进给传动链，实现钻削过程中的自动向下进给。

此外,行程开关 SQ2 被压合时,输入继电器 X12 为 ON,此时主轴正转,输出继电器 Y4 为 ON,所以输出继电器 Y2 线圈的逻辑回路导通,Y2 为 ON 并自锁,驱动中间继电器 KA3 得电吸合,冷却泵电动机 M3 起动运转,供给切削液。

4) 钻孔结束,快速返回。钻孔达到要求深度时,行程开关 SQ3 被压下(根据工件尺寸调整),输入继电器 X13 为 ON,定时器 T2 线圈的逻辑回路导通,开始计时,以便刀具暂停进给,继续转动切削。当定时时间到,T2 的映像寄存器为 ON,其常开触点接通输出继电器 Y1 线圈的逻辑回路, Y1 为 ON,驱动负载中间继电器 KA2 线圈电路导通,快速移动电动机 M2 反转,带动刀具快速向上移动。同时,输出继电器 Y1 的常闭触点断开,切断了输出继电器 Y3 的逻辑回路,中间继电器 KA4 线圈断电,使电磁离合器 YC 线圈电路断电。

当快速退回到 SQ1 位置时,SQ1 被压下,输入继电器 X11 为 ON,其取反触点为 OFF,将切断输出继电器 Y1 线圈的逻辑回路,Y1 为 OFF, 中间继电器 KA2 线圈断电,快速上移停止。

5) 结束停止。到行程开关 SQ1 被压下时,Y1 线圈为 OFF,中间继电器 KA2 线圈断电,电动机 M2 断电。输出继电器 Y1 断开时,产生的脉冲下降沿将产生制动触发信号,辅助继电器 M3 逻辑回路导通自锁,常开触点闭合,使输出继电器 Y6 逻辑回路导通,驱动接触器 KM3 线圈得电,主触点闭合,接通电动机 M2 的定子绕组的直流电路,产生制动力矩,实现快速运动结束时的制动。制动时间由定时器 T1 的设定时间决定。

经过上述五个阶段的控制,一次钻孔循环结束,操作者可以取下已经加工好的工件,安装上待加工的工件,然后按下循环起动按钮,继续进行下一个工件的加工。

(3) 攻螺纹半自动循环

将转换开关 SA1-1 扳至“半自动循环”位置,输入继电器 X5 为 OFF,将转换开关 SA2-2 和 SA2-1 闭合,输入继电器 X6 和 X10 为 ON,为攻螺纹循环做好准备。攻螺纹自动循环的控制过程与钻孔循环的不同之处是,加工完毕以后,刀具不能快速退回,只能够反转工退,当退出到工件表面以外时,再快速向上退回到原点。快进和工进过程与钻孔过程一样。下面介绍加工结束后的退回控制过程。

1)、2)、3)与以上钻孔循环过程控制一样,不再叙述。

4) 工退。攻螺纹结束,行程开关 SQ3 被压下时,输入继电器 X13 为 ON,接通定时器 T2 线圈的逻辑回路,定时开始;同时,X13 的常闭触点为 OFF,切断输出继电器 Y4 的逻辑回路,Y4 为 OFF,负载接触器 KM1 线圈断电,主轴正转停止。

当 T2 的定时时间到,将接通输入继电器 Y5 线圈的逻辑回路,Y5 为 ON,并自锁,驱动负载接触器 KM2 线圈得电,电动机 M1 反转,同时电磁离合器 YC 得电,向上工退传动链接通,丝锥一边反转,一边在进给传动链带动下向上后退。

5) 快退向上。当丝锥退出工件时,压下行程开关 SQ2, 输入继电器 X12 为

ON，切断输出继电器 Y5 的逻辑回路，接触器 KM2 线圈断电，主电动机反转停止，工退也停止。同时，辅助继电器 M7 回路产生一个脉冲下降沿触发信号，触发 M7 产生一个周期的脉冲，使辅助继电器 M8 逻辑回路导通并自锁，定时器 T3 开始计时，实现暂停后退。

当 T3 的定时时间达到设定时间，其映像寄存器的值将置为 ON，其常闭触点为 ON，一方面接通输出继电器 Y1 线圈的逻辑回路，Y1 为 ON，驱动中间继电器 KA2 线圈得电，电动机 M2 反转；另一方面，Y1 的常闭触点为 OFF，将切断辅助继电器 M8 的逻辑回路，M8 的常开触点将变为 OFF，输出继电器 Y3 的逻辑回路为 OFF，断开电磁离合器 YC 线圈电路，由 M1 到主轴的传动链断开，电动机 M2 反转，将带动丝锥快速向上退回。

当主轴快速向上退回到起点位置时，压下行程开关 SQ1，输入继电器 X11 为 ON，其取反触点为 OFF，切断输出继电器 Y1 的逻辑回路，中间继电器 KA2 线圈断电。一次攻螺纹循环结束，重新安装工件，又可以自动完成下一个工件的螺纹孔加工。

第3章　磨　　床

3.1　M1432A万能外圆磨床电气控制解析

3.1.1　M1432A的工艺特点与控制要求

1. 工艺特点

用磨料磨具(砂轮、砂带、油石或研磨料等)作为加工工具对工件表面进行切削加工的机床,统称为磨床。由于磨削加工容易得到高的加工精度和好的表面质量,所以磨床主要应用于零件的精加工,尤其是淬火钢件和高硬度特殊材料的精加工。磨床用于磨削各种表面,如内外圆柱面和圆锥面、平面、螺旋面、齿轮的轮齿表面以及各种成形面等,还可以刃磨刀具,应用范围非常广泛。磨床的种类很多,其主要类型有外圆磨床、内圆磨床、平面磨床、工具磨床、刀具刃具磨床及各种专门化磨床等。

M1432A型机床是普通精度级万能外圆磨床。它主要用于磨削公差等级IT5～7级的圆柱形或圆锥形的外圆和内孔,表面粗糙度在 Ra 0.08～1.25μm之间,主要用于磨削内外圆柱表面、内外圆锥表面、阶梯轴轴肩和端面、简单的成形旋转体表面等。

其主要机械结构如下:

1) 床身。它是磨床的基础支承件。

2) 头架。用于安装及夹持工件,并带动工件旋转。在水平面内可以逆时针方向旋转90°。

3) 工作台。工作台是由上、下两层组成,可以相对转动,以磨削圆锥表面。

4) 内圆磨具。用于支承磨内孔的砂轮主轴,内圆磨具由单独的电动机驱动。

5) 砂轮架。用于支承并传动高速旋转的砂轮主轴,砂轮架可以在水平面内调整至一定角度位置。

6) 横向进给机构。用于实现砂轮架横向工作进给、调整位移和快速进退,以确定砂轮和工件的相对位置,控制工件尺寸等。快速进退的距离是固定的,用液压传动。

2. 控制要求分析

M1432A万能外圆磨床的主要运动有:

1) 外圆磨削时,砂轮的旋转主运动、工件的旋转运动以及工作台的进给运动。

2) 内圆磨削时,内圆磨具的旋转主运动、工件的旋转运动以及工作台的进给运动。

控制要求：

1）外圆磨削时，砂轮的旋转主运动和内圆磨削时内圆磨具的旋转运动需要分别用电动机拖动，因为内、外圆磨削时需要的砂轮转速是不同的。

2）工件的旋转运动为进给运动，需要有高、低两种转速。

3）只有在液压泵电动机 M1 起动以后，才能起动其他电动机。

4）砂轮架的快速进给和后退，由液压系统驱动进给液压缸来完成，但不用电磁阀控制其快退和快进，而是用手动换向阀控制，无需设计控制电路。

3.1.2　M1432A 电路控制分析说明

1. M1432A 磨床电气控制系统的特点

1）砂轮架的旋转运动由交流电动机 M5 经过平带传动拖动，无齿轮变速机构，砂轮的切削速度不需要改变。

2）内圆磨具砂轮的旋转运动由电动机 M4 经过 V 带传动拖动，也不需要变速。

3）工件的旋转进给运动由电动机 M2 直接拖动，由于工作过程中有快速和慢速的需要，所以电动机 M2 需要变速，采用三角形联结和双星形联结两种不同的联结方式实现低速和高速。

4）液压泵电动机 M1 提供液压系统的压力油。

5）冷却泵电动机 M6 提供切削液。

2. 电气原理图及低压电气元件表

M1432A 万能外圆磨床的电气原理图如图 3-1 所示，所用的电气元件见表 3-1。

表 3-1　M1432A 电气元件表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	液压泵电动机	HL2	液压泵起动指示
M2	头架电动机	EL	机房照明灯
M4	内圆砂轮电动机	SA1	低速转换开关
M5	外圆砂轮电动机	SA2	高速转换开关
M6	冷却泵电动机	KM1	液压泵电动机接触器
SB1	总停按钮	KM2、KM3	工件电动机高低速接触器
SB2	液压泵起停按钮	KM4、KM5	内外圆砂轮电动机接触器
SB3	手动低速按钮	KM6	冷却泵电动机起动接触器
SB4、SB5	内外圆砂轮起停按钮	TC1	控制变压器
SQ1	行程开关	SA2	冷却泵起动开关
SQ2	位置开关	FU1～FU4	熔断器
HL1	刻度盘照明灯	FR1～FR6	热继电器

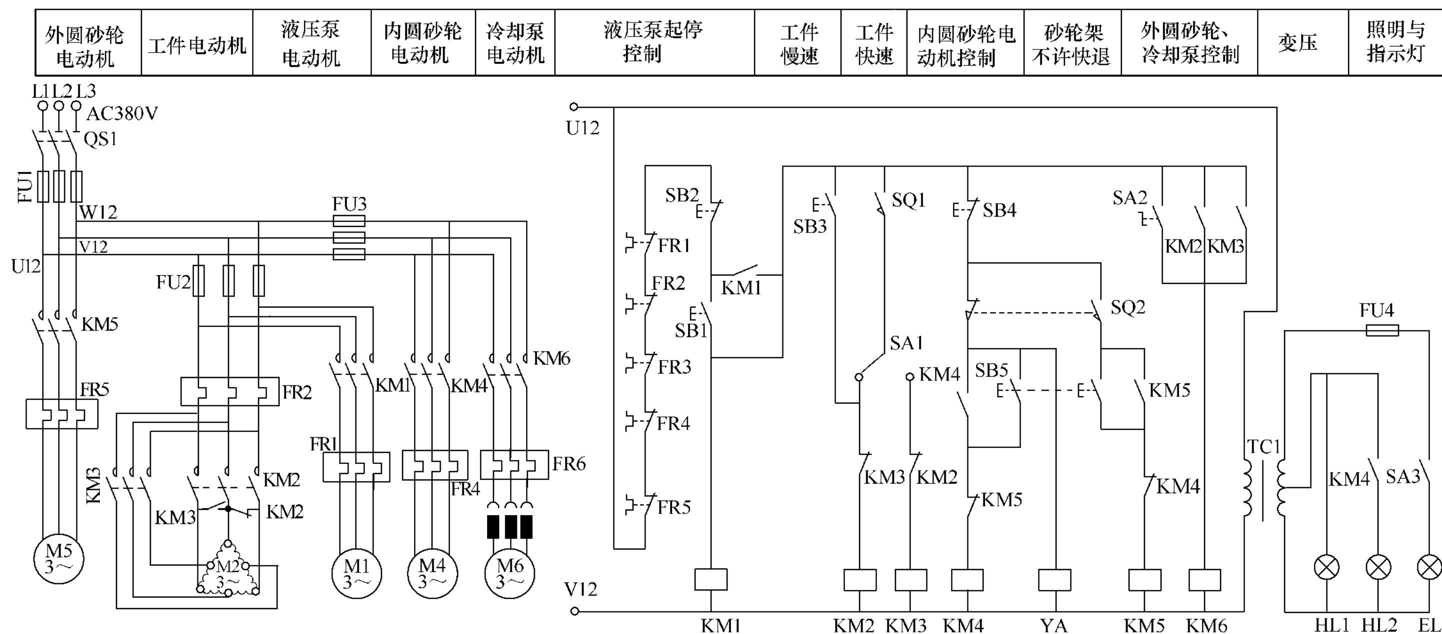


图3-1　M1432A万能外圆磨床电气原理图

3. M1432 电路分析

（1）主电路

M1432A 万能外圆磨床有五台电动机。液压泵电动机 M1 由接触器 KM1 控制。头架电动机 M2 为双速电动机，由接触器 KM2、KM3 控制，当 KM2 线圈得电时，KM2 的主触点闭合，头架电动机被连接成三角形，磁极对数多，转速低；当接触器 KM3 线圈得电时，其主触点闭合，头架电动机定子绕组被连接成双星形，磁极对数少，转速高。拖动内圆砂轮的电动机为 M4，由接触器 KM4 控制；拖动外圆砂轮的电动机为 M5，由接触器 KM5 控制。M6 电动机为冷却电动机，由接触器 KM6 控制。电动机 M1、M2、M4、M5、M6 由各自的热继电器 FR1、FR2、FR4、FR5、FR6 进行过载保护。

（2）控制电路

1）液压泵电动机。液压泵电动机 M1 提供的压力油是供给工作台的纵向进给和砂轮架的快速进退液压系统的。按下起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈得电，其自锁触点 KM1 闭合，实现自锁，同时其动合触点 KM1 闭合，液压泵起动指示灯 HL1 亮。主电路中 KM1 的主触点闭合，液压泵电动机起动并运转。由控制电路知，只有在 KM1 得电以后，其他电气控制线路才能接通。也就是说，只有在 M1 起动以后，液压系统准备就绪，其他电动机才能接通电源，起动运行。按下停止按钮 SB1，KM1 线圈断电，M1 断电停转。此时其他控制电路都无法实现接通。

2）头架电动机。磨削加工时，有头架和尾架把工件沿中心轴顶紧。头架电动机 M2 安装在头架上，电动机 M2 带动工件旋转。由于加工工件的直径大小以及精磨和粗磨的要求不同，要求头架电动机 M2 的转速能够调节。M1432A 万能外圆磨床采用塔式带轮配合双速电动机，以满足所需的速度要求。在控制电路中，SA1 为速度转换开关，分成“低”、“停”、“高”三挡。

① 低速，即 SA1 置于“低速”位置。当工件安装完毕（M1 已起动）时，操纵液压手柄使砂轮快速接近工件，砂轮架压住行程开关 SQ1，因 SA1 置于低速位置，通过 SQ1 和 SA1 接通接触器 KM2 线圈，其互锁触点 KM2 断开，实现对接触器 KM3 的互锁。主电路中 KM2 的主触点闭合，M2 得电低速运转，配合塔式带轮的传动比可以得到工件所需的转速。此时，动合触点 KM2 闭合，接通接触器线圈 KM6，主电路中 KM6 的主触点闭合，冷却泵电动机 M6 起动并供给切削液。

② 停车，即 SA1 置于“停”位置。此时控制线路被断开，“低速”、“高速”控制都无法实现，但能够进行点动调试。按下按钮 SB3，接触器 KM2 线圈得电，但不能自锁，头架电动机低速点动运转。

③ 高速，即 SA1 置于“高速”位置。通过行程开关 SQ1，接触器 KM3 线圈得

电，其互锁触点 KM3 断开，实现对接触器 KM2 的互锁。KM3 的动合触点闭合，主电路中的主触点闭合，电动机 M2 高速转动，配合塔式带轮的传动比可以得到工件所需要的转速。此时，动合触点 KM3 闭合，接触器线圈 KM6 得电，其主触点闭合，冷却泵电动机 M6 起动并供给切削液。

无论采用那种速度，在切削完毕时应用液压手柄操作使砂轮快速退回原处，行程开关 SQ1 被释放，头架电动机停止转动。

3）内、外砂轮电动机。内、外砂轮分别由电动机 M4、M5 带动，由接触器 KM4、KM5 以及行程开关 SQ2 的动合、动断触点控制，确保内外圆砂轮电动机 M4、M5 不会同时转动。

① 外圆磨削。在进行外圆磨削时，把外圆磨具往上翻，使内圆磨具移开，压下行程开关 SQ2，其动合触点 SQ2 闭合，动断触点 SQ2 断开，为接通接触器 KM5 线圈做好准备。按下按钮 SB5，接触器线圈 KM5 得电，其互锁触点 KM5 断开，实现对接触器 KM4 的互锁。主电路中的 KM5 的主触点闭合，外圆砂轮电动机 M5 定子接通电源，拖动外圆砂轮旋转。

② 内圆磨削。在进行内圆磨削加工时，将内圆磨具翻下来，SQ2 被释放复位，接触器线圈 KM5 断电，不能接通，电磁铁 YA 通电吸合，其衔铁被吸下，使砂轮架不能快速移动，其原因主要在于在磨削内圆时，内圆磨头伸入工件内孔中，砂轮架横向快速移动，必然造成设备事故；如果要求砂轮架快速退回，应先将工件退下，将内圆磨砂轮架翻上去，YA 断电后才可操作液压手柄，进行砂轮架快速退回。安装好工件后，按下起动按钮 SB5，KM4 线圈得电，其自锁常开触点 KM4 闭合，实现自锁；其互锁常闭触点 KM4 断开，实现对接触器 KM5 的互锁。主电路中 KM4 的主触点闭合，电动机 M4 定子绕组接通电源，内圆砂轮电动机运转，拖动内圆磨头的砂轮进行内圆磨削加工。

③ 内、外圆砂轮磨削停止。无论是在进行内圆磨削还是在进行外圆磨削时，按下停止按钮 SB4，接触器 KM4 或 KM5 线圈断电，其主触点释放，内、外圆砂轮电动机 M4 或 M5 断电停止转动。

4）冷却泵电动机。头架电动机 M2 在拖动工件旋转时，不论是高速还是低速运转，都需要冷却泵提供切削液。这时由接触器 KM2 或 KM3 的动合触点接通 KM6，KM6 的主触点闭合使冷却泵电动机 M6 得电，便可提供切削液。此外，在修整砂轮时，电动机 M2 不需要起动，但需要提供切削液，此时可以通过手动开关 SA2 接通 KM6 线圈，使电动机 M6 得电运转。

5）照明与指示电路。照明灯 EL、刻度盘照明灯 HL1、液压泵起动指示灯 HL2 由变压器 TC1 降压供电。照明灯 EL 电源电压为 24V 供电，由开关 SA2 控

制。液压泵起动指示灯由 KM1 控制，由 6.3V 电源电压供电，指示液压泵电动机是否正常运转。

3.2　M1432A 万能外圆磨床电气控制 PLC 改造

3.2.1　M1432A 改造说明与电路设计

根据 M1432A 的工作过程和已有继电器控制的电气参数，选择 FX2N—32MR 可编程序控制器进行改造。首先考虑保证原有控制功能不变，尽量保留原来的电气元件，不添加新的元件。主电路不变，PLC 电源电压为交流 220V，输出端口采用继电器输出方式，结合输入、输出总点数，选用 FX2N—32MR 能够满足要求。

利用 PLC 改造 M1432A 电气控制，主电路、照明电路、指示灯电路不变，对控制电路进行改造，改造后的电气原理图如图 3-2 所示，低压电气元件和 PLC 逻辑元件的作用及对应关系见表 3-2。

表 3-2　PLC 元件分配表

电气元件	作　　用	逻辑元件	电气元件	作　　用	逻辑元件
SB1	总停按钮	X0	FR2	热继电器常闭触点	X13
SB2	液压泵起动按钮	X1	FR3	热继电器常闭触点	X14
SB3	低速起动按钮	X2	FR4	热继电器常闭触点	X15
SB4	内、外砂轮停止按钮	X3	FR5	热继电器常闭触点	X16
SB5	内、外砂轮起动按钮	X4	KM1	液压泵起动接触器	Y0
SQ1	行程开关	X5	KM2	M2 低速控制接触器	Y1
SQ2	位置开关	X6	KM3	M2 高速控制接触器	Y2
SA1-1	低速调速开关	X7	KM4	内圆砂轮控制接触器	Y3
SA1-2	高速调速开关	X10	KM5	外圆砂轮控制接触器	Y4
SA2	转换开关	X11	KM6	冷却泵控制接触器	Y5
FR1	热继电器常闭触点	X12	YA	联锁电磁铁	Y6

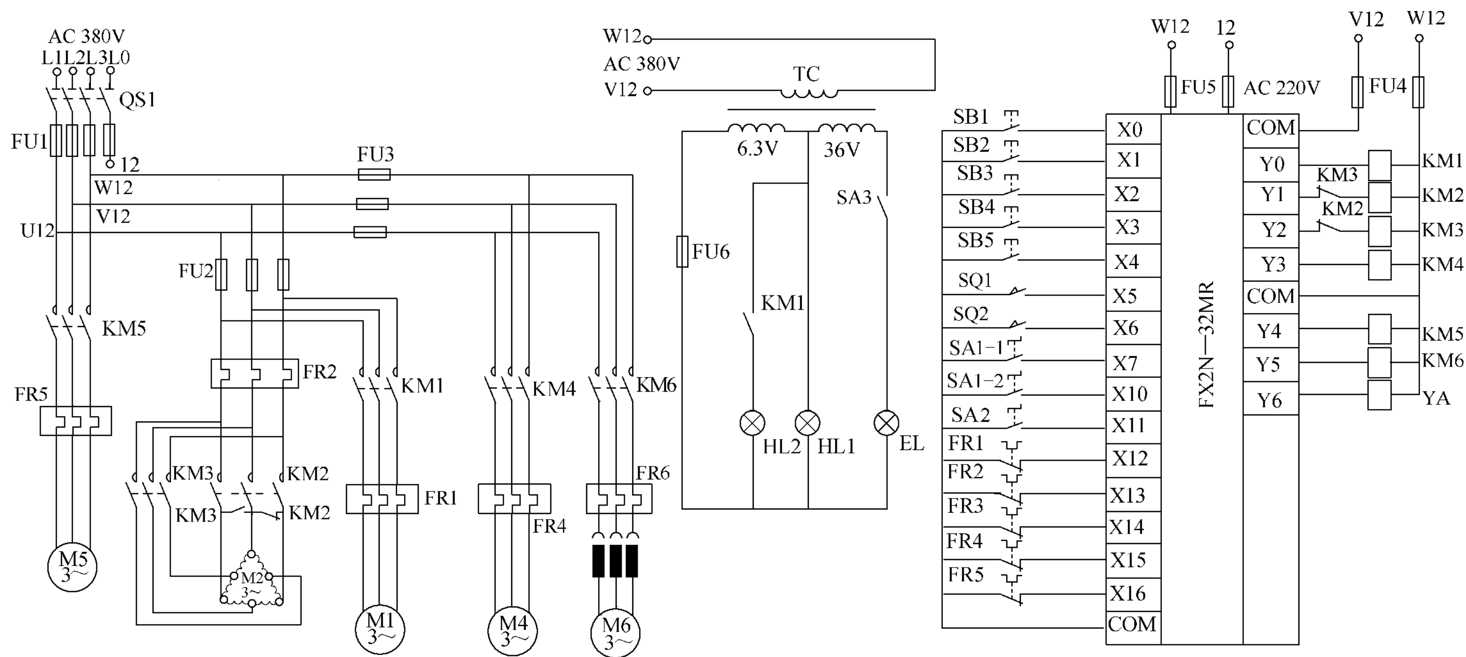


图 3-2 PLC 改造 M1432A 的电气原理图

3.2.2　M1432A 程序设计与说明

经过对 M1432A 万能外圆磨床控制电路的分析，结合 PLC 输入、输出端口的分配情况，设计对 M1432A 磨床进行 PLC 控制的梯形图，如图 3-3 所示。

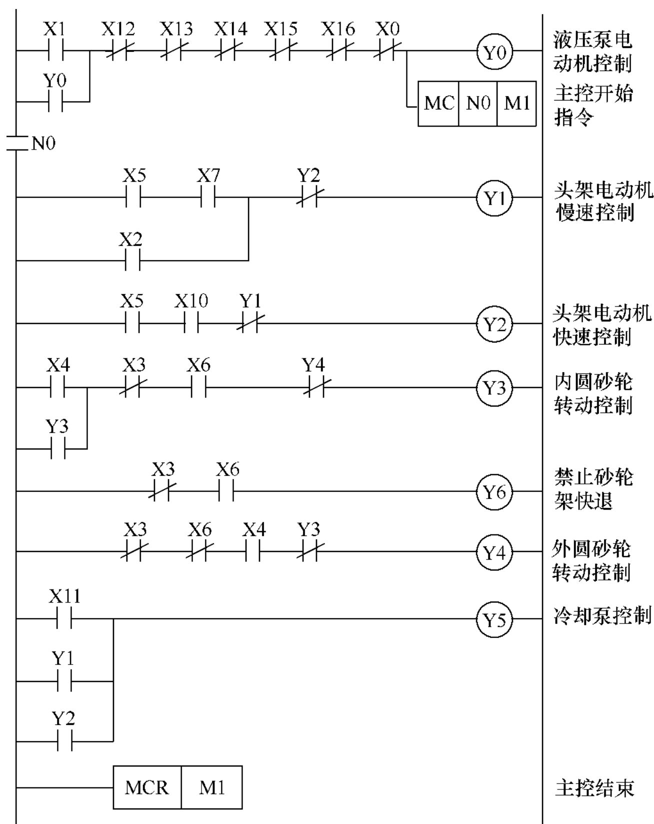


图 3-3　PLC 改造 M1432A 的控制梯形图

（1）液压泵电动机的起动与停止

按下 SB2 按钮，输入继电器 X1 为 ON，使输出继电器 Y0 逻辑回路导通，Y0 闭合，驱动接触器 KM1 线圈得电并自锁，液压泵电动机 M1 主电路接通连续运转，KM1 的常开触点闭合，接通液压泵指示灯电路，指示灯亮。

按下按钮 SB1，输入继电器 X0 为 ON，取反后为 OFF，输出继电器 Y0 逻辑回路断开，接触器 KM1 断电，电动机 M1 停止转动。

（2）头架电动机的起停

1）点动控制。在液压泵电动机起动的前提下，按下按钮 SB3，输入继电器 X2 为 ON，输出继电器 Y1 线圈逻辑回路导通，Y1 为 ON，驱动接触器 KM2 线圈得

电，头架电动机主电路闭合，电动机M2低速点动运转。

2）低速控制。在液压泵电动机起动的前提下，操作液压手柄使砂轮架快速接近工件，砂轮架压下行程开关SQ1，输入继电器X5为ON，此时拨动转换开关SA1-1，X7为ON，输出继电器Y1线圈逻辑回路导通，Y1为ON，驱动接触器KM2线圈得电，主触点闭合，头架电动机M2主电路接通，定子绕组连接成三角形，电动机低速转，同时输出继电器Y1触点取反后为OFF，输出继电器Y2不能接通，实现与高速转动的互锁。

3）高速控制。在液压泵电动机起动的前提下，操作液压手柄使砂轮架快速接近工件，砂轮架压下行程开关SQ1，输入继电器X5为ON，此时拨动转换开关SA1-2，X10为ON，输出继电器Y2线圈逻辑回路导通，Y2得电为ON，驱动接触器KM3线圈得电，主触点闭合，头架电动机定子绕组成双星形联结，头架电动机高速转动，同时输出继电器Y2触点取反后为OFF，Y1线圈不能接通，实现与低速转动的互锁。

4）停止控制。无论头架电动机是在高速运转还是在低速运转，拨转换开关SA1至停止位置，X10为OFF、X7为OFF，输出继电器Y1、Y2线圈均不能导通，接触器KM2、KM3断开，头架电动机停止转动。

（3）内圆砂轮电动机的起动与停止

在液压泵电动机起动的前提下，将内圆磨具翻下来，压住位置开关SQ2，输入继电器X6为ON。按下按钮SB5，输入继电器X4为ON，输出继电器Y3逻辑回路导通，Y3为ON，驱动接触器KM4线圈得电，其主触点闭合，内圆砂轮电动机起动。同时输出继电器Y3的触点取反后为OFF，输出继电器Y4不能得电，实现与外圆砂轮电动机的互锁。

按下按钮SB4，输入继电器X3为ON，触点取反后为OFF，输出继电器Y3断电，接触器KM4断电，内圆砂轮电动机停止转动。

（4）外圆砂轮电动机的起动与停止

在液压泵电动机起动的前提下，将外圆磨具翻下来，位置开关SQ2被释放，输入继电器X6为OFF，触点取反后为ON。此时按下按钮SB5，X4为ON，输出继电器Y4逻辑回路导通，驱动接触器KM5线圈得电，外圆砂轮电动机起动运转。同时Y4触点取反后为OFF，输出继电器Y3不能导通，实现与内圆砂轮电动机的互锁。

按下按钮SB4，输入继电器X3为ON，其触点取反后为OFF，输出继电器Y4逻辑回路断开，使接触器KM5断电，外圆砂轮电动机停止转动。

（5）冷却泵的起动与停止

头架电动机起动时,KM2 或 KM3 得电,输出继电器 Y5 为 ON,驱动接触器 KM6 得电,冷却泵电动机起动。

头架电动机未起动时,转动转换开关 SA2,输入继电器 X11 为 ON,输出继电器 Y5 逻辑回路导通,驱动接触器 KM6 得电,冷却泵电动机起动。

在头架电动机未起动和拨动转换开关 SA2 至空位时,输出继电器 Y5 逻辑回路断开,Y5 为 OFF,接触器 KM6 断电,冷却泵电动机停止转动。

3.3　M7130 电气控制解析

3.3.1　M7130 的工艺特点与控制要求

M7130 是平面卧轴矩台磨床,其工作台为矩形,砂轮轴线水平放置,工作时砂轮旋转,通过砂轮外圆对放在工作台上的工件表面进行磨削,主要用于结构简单、厚度较小、零件尺寸不大的工件端面的磨削加工。为了避免砂轮与夹紧、定位装置相撞,采用电磁吸盘来将工件吸持在机床矩形工作台表面上,无需夹紧装置。工作台上一次可以放置多个零件同时加工。

1. *主要结构及运动形式*

矩形工作台式平面磨床是由床身、工作台、电磁吸盘、砂轮箱、滑座和立柱等几部分组成。

工作台装置有电磁吸盘,用以吸持工件,它们在床身的导轨上作往复运动(纵向运动)。固定在床身上的立柱右导轨,滑座在立柱导轨上作垂直运动,而砂轮箱在滑座的导轨上作水平运动(轴向运动或称横向运动)。砂轮箱内有电动机带动砂轮作旋转运动。

平面磨床的主要运动是砂轮的旋转运动。进给运动有垂直进给(滑座在立柱的上、下运动)和纵向运动(工作台沿床身的往复运动)。当工作台每完成一次纵向行程时,砂轮作轴向进给,当加工完整个平面后,砂轮作垂直进给。此外,还有辅助运动,如砂轮箱的快速移动和工作台的调整运动等。

2. *电力拖动特点及控制要求*

(1) 电力拖动特点

在 M7130 平面磨床中,砂轮并不要求调速,所以通常都采用笼型异步电动机来拖动。为了达到体积小、结构简单及提高机床精度,采用装入式异步电动机直接拖动,这样磨床的主轴就是电动机轴。

由于平面磨床是一种精密机床,为了保证加工精度,通常采用液压传动。这是因为液压传动比较平稳,实现无级调速方便,同时液压传动换向时的惯性小,换向

平稳,对于工作台纵向往复运动频繁,特别加工短零件时尤为重要,这些都是电气—机械传动所不可比拟的。所以,平面磨床工作台的往复运动(纵向进给)采用液压传动,由液压电动机拖动液压泵,经液压传动装置实现工作台垂直于砂轮的纵向运动。在工作台纵向送进完毕时,通过工作台上的撞块碰击床身上的液压换向开关,改变液流方向使液压缸反向运动,带动工作台反向送进,这样来回换向就实现了工作台的往复运动。

当工作台反向时,砂轮箱便自动(或手动)周期性地横向进给一次,从而使工件整个被加工平面连续地得到加工。这个运动可由液压装置自动实现,也可由手动来操作。当整个加工平面完成后,砂轮沿垂直进给再次进行加工,这个垂直进给由手动操作来实现。

由此可知,液压电动机拖动液压泵经液压装置来完成往复运动以及横向的自动进给,并承担工作台运动导轨的润滑。

在磨削过程中使工件得到良好的冷却,需要采用冷却泵为磨削过程输送切削液。为了提高生产效率及加工精度,磨床中广泛采用多电动机拖动,使磨床有最简单的机械传动系统。因此,M7130平面磨床共用了三台电动机,即砂轮电动机、液压泵电动机和冷却泵电动机。

(2)控制要求

1)砂轮电动机、液压泵电动机和冷却泵电动机都只要求单向运转。

2)冷却泵电动机随砂轮电动机开动,当不用切削液时也可单独断开冷却泵电动机。

3)具有完善的保护环节。如各电路的短路保护,电动机的长期过载保护,零电压保护,电磁吸盘的欠电流保护以及防电磁吸盘突然断电而工件飞出的保护,避免电磁吸盘在断开电源时产生高压而危及电路中其他电气的保护等。

4)能保证在使用电磁吸盘的正常工作状态和不用电磁吸盘的调整机床状态下都能起动机床各电动机。但在使用电磁吸盘的工作状态时,必须保证只有电磁吸盘吸引力足够大时才能起动机床各个电动机。

5)具有使用电磁吸盘吸牢工件或放开工件并去磁的控制环节。

3.3.2 M7130电路控制分析说明

图3-4为M7130卧轴矩台平面磨床的电气原理图。为分析电路方便,可把整个电路分为主电路、控制电路、电磁吸盘控制电路及机床照明电路。表3-3为M7130低压电气元件表。下面分别对各部分电路进行分析。

电源开关及保护	砂轮电动机	冷却泵电动机	液压泵电动机	退磁接轴器	低压照明灯	整流变压器	充、退磁控制	电磁吸盘及欠电流保护	砂轮控制	液压泵控制

图 3-4　M7130 卧轴矩台平面磨床电气原理图

表3-3　M7130低压电气元件表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	砂轮电动机	YH	电磁吸盘
M2	冷却泵电动机	SA1	电磁吸盘去磁、充磁用转换开关
M3	液压泵电动机	KM1	砂轮电动机控制接触器
KI	欠电流继电器触点	KM2	液压泵电动机控制接触器
SB1、SB2	砂轮起停按钮	R1～R3	电阻
SB3、SB4	液压泵起停按钮	FR1、FR2	热继电器
VC	整流器	C	电容
TC1、TC2	变压器	—	—

1. 主电路分析

主电路有三台电动机M1、M2、M3，其中M1为砂轮电动机，M2为冷却泵电动机，M3为液压泵电动机，三台电动机都只要求单向旋转，且不需要电气制动，由接触器KM1和KM2的主触点控制三台电动机的旋转和停止。

2. 控制电路分析

当电磁吸盘处于吸合或者转换开关SA闭合时，按下起动按钮SB2，接触器KM1线圈得电，砂轮电动机M1起动；按下按钮SB3，接触器KM2线圈得电，液压泵电动机起动，机床进入正常加工工作状态。其中，只有KA线圈得电，表明电磁吸盘已经正常吸持工件，这时才能起动M1、M2，或者将转换开关SA闭合，表明进行机床调整状态，工作台上没有工件，这时可以起动M1、M2。

3. 电磁吸盘控制电路分析

(1) 电磁吸盘控制分析

电磁吸盘控制电路分为整流电路、控制装置和保护装置。电磁吸盘YH的直流电磁线圈的电源是由变压器将380V的交流电变压为127V，再由整流器整流后供给电磁线圈110V直流电压。

电磁吸盘的正向接通（上磁）、断电和反向接通（去磁），是通过转换开关SA1来进行控制的。当SA1扳到上磁位置时，SA1-2和SA1-4闭合，这样吸盘的线圈得到整流器供给的全部电压，从而电磁吸盘对工件产生足够的吸力而将工件吸牢。

欠电流继电器KI线圈得电，在KM1、KM2控制回路中的常开触点KI闭合，为砂轮电动机和液压电动机起动做准备。按下按钮SB2和SB3，电动机M1、M2起动，进行正常的磨削加工。当工件加工完毕后，需要将工件从吸盘上取下，只将SA扳到断电位置，由于工作台和工件上有剩磁，将造成取下工件困难，并且工件具有工艺上不允许的剩磁。为此，可在取下工件前，将工作台和工件进行一次去磁。其方法是：将SA扳到去磁的位置，SA1-1、SA1-3闭合，电流流经YH的方向发生变化，使得电磁吸盘和工件去磁。为了不至于造成反向磁化，故在去磁回路中串接入电阻R2，减小了去磁电流，在操作上去磁时间应适当，在去磁结束后，将SA扳到断电位置，取下工件。若工件对去磁要求严格时，在取下工件后，还需要用交流去磁器进行处理。交流去磁器是平面磨床的一个附件，当工件需要去磁处理时，可将去磁器的插头插在床身上的插座上，再将工件放在去磁器上来回移动若干次即可完成去磁。

（2）电磁吸盘控制电路中的保护装置

1）电磁吸盘线圈中串入的欠电流继电器KI作为电磁吸盘的欠电流保护。KI的作用之一是在磨削加工过程中，当电磁线圈中的电流大大减小或消失时，电流继电器因欠电流而动作，使串联在电动机控制电路中的触点断开，接触器KM1、KM2线圈断电，电动机M1、M2停止转动。这就可以防止工件因为失去足够的吸引力而被高速转动的砂轮碰击飞出，造成人身和设备事故。作用之二是，当工件放在电磁吸盘上，但开关SA没有扳到上磁位置，或者电磁线圈回路出现故障，电磁线圈电路不同或者电流过小，电流继电器KI不动作，其常开触点处于断开位置，这时按下按钮SB2、SB3，也不能起动电动机M1、M2，这就防止了当工件未吸牢就开动砂轮，将工件甩出而造成事故的危险。

但是，当电磁吸盘没有上磁，要单独对砂轮或者工作台进行调整（比如调整砂轮对工件的相对位置）时，砂轮和工作台是无法开动的。而一般在调整工件与砂轮的相对位置时是不需要电磁吸盘工作的。为此在该机床中，利用开关SA的一对触点与KA触点并联，且在开关扳到去磁位置上，SA的一对触点将KA触点短接，为电动机的调整做好准备。

2）电磁吸盘线圈YH的过电压保护。电磁吸盘线圈是一个大电感元件，在电磁吸盘工作时，线圈中储存着大量的磁场能量。当断开电源的瞬间，若没有放电电路，将会在电磁线圈两端产生很大的自感电动势，该电动势甚至会把线圈的绝缘部分损坏，同时在断开线圈上产生很大的火花，导致触点的损坏。为此在线圈两端应接有放电装置，在断开YH线圈电源时线圈所储存的能量通过放电装置消耗掉。常见的有三种放电装置，即并联电阻放电，并联电阻和电容放电，并联电阻和二极管放电。

M7130采用并联电阻R3放电。R3的电阻值必须选择恰当，若R3的电阻值

过大，会使放电电流减小，效果不好，还会产生过电压；若 R3 的电压值过小，会导致在 R3 上的能量消耗太大，容易烧坏 R3，导致整流器过载。

3）整流装置的过电压保护。交流电路产生的过电压和在直流侧电路的通断，都会在变压器 TC2 的二次侧产生浪涌电压。为此，可以在变压器二次侧接上阻容吸收装置，当浪涌电压来到时，电容便充电而将尖峰电压吸收；为了防止电容与变压器二次侧的电感发生振荡，故在电容 C 的电路中串有电阻 R1。

4）电磁吸盘的短路保护。为了防止电磁吸盘电路短路，在整流变压器 TC2 的二次侧或者在整流器的输出端接上熔断器 FU4。

3.4 M7130 电气控制 PLC 改造

3.4.1 M7130 改造说明与电路设计

根据 M7130 平面磨床的工作过程和已有继电器控制的电气参数，选择 FX1N 可编程序控制器进行改造。PLC 电源电压为交流 220V，接触器线圈负载电源为交流 380V。照明电路和指示灯电路不作改造，不同电源类型的负载使用不同的输出端口 COM，采用继电器输出方式，结合输入、输出总点数，选用 FX1N—24MR 能够满足要求。

主要采取的措施如下：

1）对于电磁吸盘的控制电路，利用接触器的触点来接通或者断开电磁吸盘电路。接触器的开关由 PLC 控制，这样避免了转换开关开闭时容易产生火花的缺点。

2）电磁吸盘的正、反控制由两个接触器触点来完成。

3）去磁时间利用 PLC 的定时器来控制，不再通过操作人员来把握，使得对不同工件的剩磁控制更加准确，时间调整也比较容易。

4）电磁吸盘的“充磁”与“退磁”转换开关 SA1 的三个位置分别连接三个 PLC 输入端口。

5）冷却泵电动机的接插器 X1 用接触器 KM3 来替代，并用两个按钮来控制冷却泵的起动与停止。

6）电磁吸盘电路的充磁、断开和去磁回路由接触器 KM4、KM5 来控制。当 KM4 线圈得电时，正向接通电磁吸盘 YH 直流电源，YH 为充磁工作状态；KM5 线圈得电时，则 YH 的直流电源反接，为去磁工作状态。

经过改造后 M7130 的电气图如图 3-5 所示，元件分配情况见表 3-4。

图 3-5 M7130 平面磨床 PLC 控制电气原理图

表 3-4　PLC 元件分配表

电气元件	作用	逻辑元件	电气元件	作用	逻辑元件
KI	欠电流继电器触点	X0	SA1-2	电磁吸盘去磁	X10
SB1	砂轮起动按钮	X1	SA1-3	砂轮调整	X11
SB2	砂轮停止按钮	X2	KM1	砂轮电动机控制接触器	Y0
SB3	液压泵起动按钮	X3	KM2	液压泵电动机控制接触器	Y1
SB4	液压泵停止按钮	X4	KM3	冷却泵电动机控制接触器	Y2
SB5	冷却泵起动	X5	KM4	工作台充磁控制接触器	Y3
SB6	冷却泵停止	X6	KM5	工作台去磁控制接触器	Y4
SA1-1	电磁吸盘充磁	X7	—	—	—

3.4.2　M7130 程序设计与说明

根据 M7130 磨床的控制要求，结合 PLC 的逻辑元件分配情况，设计得到的 PLC 控制梯形图如图 3-6 所示。

（1）砂轮电动机液压泵电动机控制

为了保证工件在被电磁工作台吸紧后，砂轮才能起动，以避免工件没有被夹紧，砂轮撞飞工件，对串联在电磁吸盘电路中的欠电流继电器 KI 与电磁吸盘一起得电并处于正常电流值以后，KI 常开触点闭合，输入继电器 X0 为 ON，这时才能够起动砂轮电动机。只需要按下起动按钮 SB2，输入继电器 X2 为 ON，输出继电器线圈逻辑回路导通自锁，Y0 得电为 ON，驱动负载 KM1 线圈电路闭合得电，KM1 主触点闭合接通砂轮电动机主电路，电动机带动砂轮转动。当按下停止按钮 SB1 时，输出继电器 X1 为 ON，取反后断开 Y0 逻辑回路，KM1 断电，电动机 M1 断电，砂轮停止转动。当对砂轮位置进行调整时，可以将 SA1 置于调整位置，SA1-3 闭合，输入继电器 X11 为 ON，由于 X11 与 X0 并联，所以按下按钮 SB2 能起动砂轮电动机。

液压泵电动机的主电路由接触器 KM2 控制，KM2 线圈回路受输出继电器 Y1 控制，Y1 的逻辑回路与 Y0 相似，按下按钮 SB4 时为起动电动机，按下停止按钮 SB3 时，电动机停止。

（2）冷却泵电动机控制

对于冷却泵电动机控制，用接触器 KM3 代替了接插器 X1，当按下按钮 SB5 时，输入继电器 X5 为 ON，输出继电器 Y2 逻辑回路导通，Y2 线圈得电并自锁，驱动接触器 KM3 线圈回路导通，主触点闭合，冷却泵电动机 M3 起动。当按下按钮 SB6 时，输入继电器 X6 为 ON，取反后为 OFF，切断 Y2 逻辑回路，接触器 KM3 断电，电动机停止。

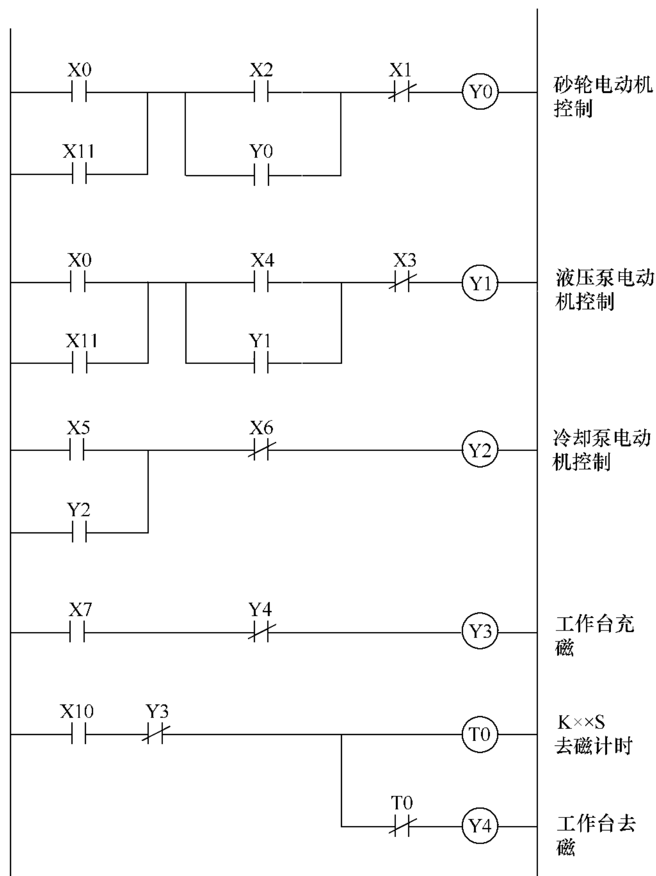


图 3-6　M7130 平面磨床 PLC 控制梯形图

（3）电磁吸盘充磁和去磁控制

当转换开关 SA1 转换到充磁位置时，SA1-1 触点闭合，输入继电器 X7 得电为 ON，驱动输出继电器 Y3 逻辑回路导通，输出继电器 Y3 为 ON，使接触器 KM4 线圈电路导通得电，两对动合触点闭合，接通电磁吸盘和欠电流继电器线圈吸磁电路，产生磁场力，夹紧工件。当工件加工完毕，取下工件时，将 SA1 转换到去磁位置，则 Y3 逻辑回路断开，接触器 KM4 断电，电磁吸盘电路断开。SA1-2 触点闭合，输入继电器 X10 为 ON，驱动输出继电器 Y4 线圈回路导通，Y4 得电，使接触器 KM5 线圈电路闭合得电，两对常开触点接通电磁吸盘和欠电流继电器线圈回路，但由于通电方向与充磁相反，所以产生去磁的效果。同时 PLC 内的计时器 T0 开始计时，当计时时间到，则 T0 的触点动作，常闭触点断开，切断输出继电器 Y4 的逻辑回路，Y4 为 OFF，接触器 KM4 断电，去磁结束。改造中增加了计时器，不

同材料的零件去磁时间可以根据需要更改，避免了改造前由操作工人掌握去磁时间不够准确的不足。

（4）PLC 改造说明

1）欠电流继电器回路和电磁吸盘控制回路依然保存，只是将有三位置的转换开关 SA1 用接触器 KM4 和接触器 KM5 的触点来接通充磁和去磁回路，主令元件还是 SA1，避免转换开关触点受较大的电磁吸盘电流。并且电磁吸盘的工作电流较大，不适合作为 PLC 的负载直接与 PLC 的输出端口连接。也为 PLC 控制大电流负载提供了控制思路。

2）去磁时间用 PLC 的内部计时元件来控制，既不增加低压电气元件，也让时间控制更加准确，计时时间到，转换开关仍然停在原位。

第4章　镗　　床

4.1　T68 卧式镗床的电气控制解析

4.1.1　T68 的工艺特点与控制要求

1. 工艺特点

镗床是冷加工中使用比较普遍的设备，它分为卧式镗床、坐标镗床两种。卧式镗床 T68 比较典型，又称为卧式铣镗床，其工艺范围非常广泛。在镗杆主轴上装上钻头、镗刀、铰刀、铣刀等刀具，在主轴带动下作旋转主运动，可以用于钻孔、镗孔、铰孔及铣削加工端面等；使用一些附件后，还可以车削圆柱表面、螺纹以及尺寸较大的环槽和端面。在镗床上加工时，工件固定在工作台上，由镗杆或花盘上的固定刀具进行切削。主运动为镗杆或花盘的旋转运动，进给运动为工作台的前、后、左、右及主轴箱的上、下和镗杆的进、退运动，以上八个方向的进给运动除了可以自动进给外，还可以进行手动进给和快速移动。

其电气特点表现在以下几个方面：

1）为了适应各种工件加工工艺的要求，镗床主轴要有较大的调速范围，多采用交流电动机驱动的滑移齿轮有级变速系统。由于镗床主拖动要求恒功率调速，所以采用三角形-双星形双速电动机。

2）当采用滑移齿轮变速时，在变速过程中经常出现顶齿现象，使滑移齿轮不能正常啮合。为克服这种现象，要求主轴运动系统在变速过程中能作低速断续冲动。

3）一般情况下，该镗床的进给运动和主轴运动用同一电动机传动，利用滑移齿轮变速。

4）镗床各进给部分都应能快速移动，快速进给由另一台电动机拖动。

2. 控制要求分析

（1）T68 卧式镗床加工时的运动

1）主运动：主轴的旋转和平旋盘的旋转运动。

2）进给运动：主轴在主轴箱中的进出进给，平旋盘上刀具的径向进给，主轴箱的升降（即垂直进给），工作台的横向和纵向进给。这些进给运动都可以进行手动或机动。主运动和进给运动由电动机 M1 完成拖动。

3）快速移动：由电动机 M2 完成拖动。

（2）T68 卧式镗床运动对电气控制电路的要求

1）主运动与进给运动是由一台双速电动机拖动，高、低速可选择。

2）为适应加工过程中调整的需要，要求主轴可以正、反转点动调整，这是通过主轴电动机低速点动来实现的。同时还要求主轴可以正、反向旋转。

3）由于卧式镗床主轴的制动要求快而准确，所以必须采用效果较好的停车制动。常采用反接制动。

4）主轴变速应有变速冲动环节。

5）快速移动电动机采用正、反转点动控制方式。

6）进给运动和工作台移动两者只能取一，必须互锁。

4.1.2 T68电路控制分析说明

1. 电气控制线路的特点

1）主电动机为双速电动机，机床的主运动和进给运动共用这台电动机（5.5/7.5kW，1440r/min、2900r/min）来拖动。低速时将定子绕组接成三角形，高速时将定子绕组接成双星形。高、低速的转换由主轴孔盘变速机构内的行程开关SQ控制，SQ常态时接通低速，SQ被压下时接通高速。

2）主电动机可实现正转、反转及正、反转时的点动控制。为限制电动机的起动和制动电流，在点动或制动时，定子绕组串入了限流电阻。

3）主电动机在低速时可以直接起动，在高速时控制电路要保证先接通低速，经延时再接通高速，以减小起动电流。

4）为保证变速后齿轮进入良好的啮合状态，在主轴变速和进给变速时，主电动机要缓慢的转动。本机床主轴变速时电动机的缓慢转动是通过行程开关SQ1和SQ2完成的，进给变速时是通过行程开关SQ3和SQ4及速度继电器KS共同完成的。

T68的主电路和控制电路图如图4-1所示，低压电气元件表见表4-1。

表4-1 低压电气元件表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	主电动机	SB3、SB4	主电动机正、反转点动用控制按钮
M2	快速移动用电动机	SB5	主电动机停止用按钮
KM1、KM2	主电动机正、反转用接触器	TC1	控制变压器
KM3	限流电阻短路用接触器	SQ1、SQ2	主轴变速用行程开关
KM4、KM5	快速移动电动机正、反转用接触器	SQ3、SQ4	进给变速用行程开关
KM6～KM8	主电动机低速和高速转换接触器	SQ5、SQ6	主轴箱、工作台与主轴进给互锁行程开关
KA1、KA2	中间继电器	SQ7、SQ8	快速电动机用行程开关
KS	速度继电器	R	限流电阻
SQ	高、低速转换行程开关	FU1～FU4	短路保护用熔断器
FR1	热继电器	KT	通电延时时间继电器
SB1、SB2	主电动机正、反转控制按钮	—	—

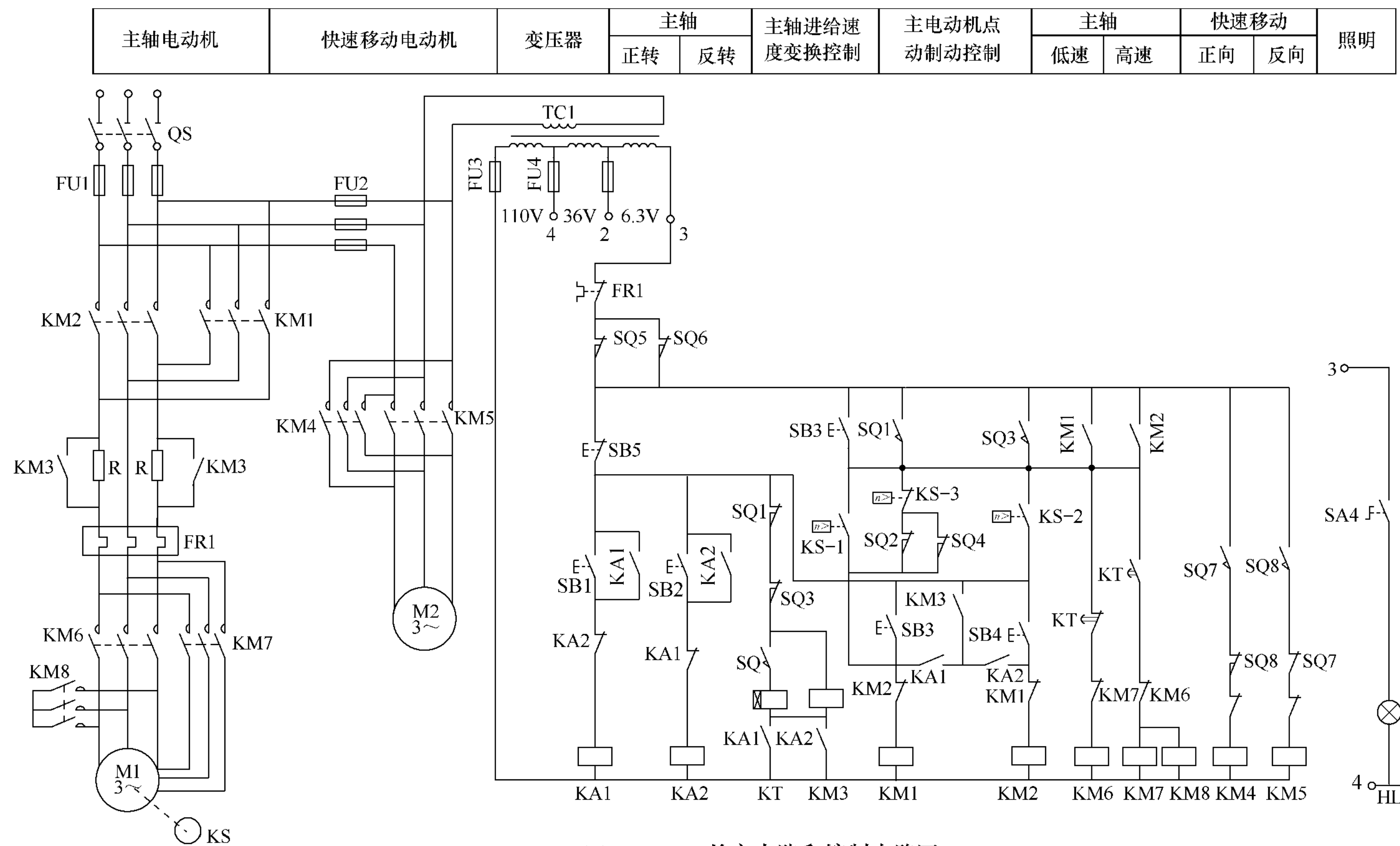


图 4-1　T68 的主电路和控制电路图

2. 电路分析说明

(1) 主电路说明

主电动机具有高、低两种转速。在低速时，接触器KM1(或KM2)、KM6及电流较小的接触器KM3得电，主电路构成三角形联结；在高速时，先作低速起动，然后切换到KM1(或KM2)，KM7、KM8得电，KM6断电，主电路构成双星形，转速提高。制动时为反接制动，KM3断开，接入限流电阻。主电动机的运动通过传动机构分别带动主轴、工作台作进给运动。

快进电动机M2可以正、反向旋转，通过手柄改变机械传动链，然后带动主轴或工作台作快速运动。

(2) 主电动机的起动控制

主电动机的点动分为正向点动和反向点动，分别由点动按钮SB3和SB4控制。按下正向点动按钮SB3时，接触器KM1得电吸合，KM1的动合触点又使接触器KM6动作，因此三相电源经接触器KM1的主触点、限流电阻和接触器KM6的主触点接通主电动机M1的定子绕组，使电动机在低速下正向旋转，松开按钮SB3，电动机断电停止。

反向点动与正向点动的动作过程相似，不过需要按钮SB4和接触器KM2、KM6的触点动作配合来实现。

主电动机正向、反向旋转控制由按钮SB1和SB2操作。当要求电动机低速运动时，行程开关SQ触点处断开位置，SQ3和SQ1为闭合状态。按下按钮SB1时，中间继电器KA1得电动作。KA1有三组动合触点，第一组触点用来接通自锁回路，第二组触点使接触器KM3得电动作，KM3的主触点将限流电阻R短路，KM3的辅助触点闭合，同时第三组触点闭合将接触器KM1线圈自锁。KM1触点的动作又使接触器KM6得电吸合，由于KM1、KM3及KM6动作，主电动机在全电压、定子绕组三角形联结下直接起动而低速运行。

当要求电动机为高速旋转时，通过变速机构和机械动作，将行程开关SQ的常开触点闭合，这时按下起动按钮SB1后，中间继电器KA1得电吸合，与低速运行一样，KM1、KM3及KM6相继动作，使电动机在低速状态下直接起动。与此同时，已闭合的KA1的动合触点与SQ的动合触点接通了时间继电器的KT线圈，经延时后KT的动断延时断开触点打开，KM6断电。KT延时动合触点闭合，使接触器KM7和KM8得电动作。KM7、KM8的主触点将电动机的绕组联结成双星形并重新接入电源，使电动机从低速转为高速旋转。

反向旋转的起动过程与正向起动相同，但参与控制的电器为按钮SB2，中间继电器KA2，时间继电器KT，接触器KM2、KM3、KM5及KM7、KM8。

（3）主电动机的反接制动控制

按下停止按钮 SB5 后，电动机的电源反接，则电动机在反接状态下迅速制动。在电动机转速下降到速度继电器的复位转速时，速度继电器的触点自动切断控制电路，切断电动机的电源，电动机停止转动。

当电动机正转时，则速度继电器的正转动合触点 KS-2 闭合，而动断触点 KS-3 断开；当电动机反转时，速度继电器的反转动合触点 KS-1 闭合，为电动机在正转或反转时的反接制动做好准备。

以主电动机正转反接制动为例介绍电路的工作情况。主电动机低速正转时，则电气元件 KA1、KM1、KM3、KM6 线圈通电吸合，速度继电器的动合触点 KS-2 闭合；此时按下停止按钮 SB5，SB5 的动断触点使 KA1 和 KM3 断电释放，KA1 触点断开，使 KM1 断电释放，切断了主电动机电源。按下 SB5 的同时，它的动合触点闭合并接通了以下电路：从电源线→SB5 触点→速度继电器常开触点 KS-2→接触器 KM1 常闭触点→KM2 的线圈→电源线。所以使反转用接触器 KM2 得电动作，KM2 动作后，其 KM2 的动合触点接通了 KM2 线圈的自锁电路；当放开停止按钮 SB5 后，KM2 继续得电动作，KM2 的触点闭合代替了 KM1 的触点，使 KM6 一直保持得电状态。KM2 和 KM6 的得电，使三相电源经过的主触点、限流电阻 R 和 KM6 主触点反接给电动机，电动机进行反接制动。当电动机的转速降低到速度继电器的复位转速时，速度继电器的正转动合触点 KS-2 断开，切断了 KM2 的通电回路，KM6 相继断电释放，切断了电动机电源，电动机制动结束。

反向旋转的制动过程与正向旋转相似，此时参与控制的电气元件是速度继电器的反转动合触点 KS-1、接触器 KM1 和 KM6。

制动过程中，反接电流太大，所以必须接入限流电阻 R，接触器 KM3 断电。

（4）主轴或进给变速时主电动机的瞬时点动控制

该镗床变速控制的特点是主轴或进给变速时主电动机可获得瞬时点动，以利于齿轮进入正确的啮合状态。该机床的主轴进给不仅可以在停车时进行，而且在机床运动中也可以变速。

当主轴变速时将变速孔盘拉出，这时使 SQ1 动断触点断开，KM3 断电，在主回路中接入了限流电阻 R，并且 KM3 触点断开，KM1 断电释放，从而使主电动机脱离电源。所以该机床可以在主电动机开动的情况下调速，电动机能自动停止转动。这时旋转孔盘，选好合适的转速后，将孔盘推入，在此过程中，如果滑移齿轮的齿和固定齿轮的齿发生顶撞时，则孔盘不能推回原位，这时 SQ1、SQ2 没有受压，SQ1 的动断触点闭合，SQ2 动断触点也闭合，从而接通瞬时点动控制电路，它的通电回路为：电源→行程开关 SQ1→速度继电器的正转触点 KS-3 切断→行程开关 SQ2 常闭触点→KM2 动断触点→KM1 的线圈→电源线。使 KM1 线圈通电动

作，同时由于 SQ1 动断触点是闭合的，已使 KM6 通电动作，所以主电动机经限流电阻在低速下起动。电动机一旦转动后，速度继电器的动断触点转为断开，而正转动合触点 KS-2 转为闭合，使 KM1 线圈断电释放。KM2 线圈得电动作，因而主电动机又反接制动。当主电动机的转速制动到速度继电器的复位转速后，速度继电器的正转动断触点又转为闭合，从而又接通了瞬时点动线路而重复上述过程。这样间歇的起动与制动使电动机缓慢的旋转，以利于齿轮进入正确的啮合状态。一旦孔盘推回原位后，行程开关 SQ1 和 SQ2 被压下，将 SQ1 的动断触点和 SQ2 的动断触点断开，切断瞬时点动线路。这时，SQ1 的动合触点恢复闭合，使 KM8 得电动作，KM8 的动合触点闭合又使 KM1 得电动作，主电动机在新的转速下又重新起动。

在进给速度变速时，瞬时点动的控制原理与主轴变速时完全相同，其中行程开关 SQ3 和 SQ4 的触点在电路中的位置与 SQ1 和 SQ2 完全相同。

（5）主轴箱、工作台或主轴的快速移动

机床各部件的快速移动由快速手柄操纵，配合快速电动机 M2 拖动来完成。快速手柄扳到正向快速位置时，行程开关 SQ7 被压动，接触器 KM4 得电动作，快速移动电动机 M2 正转。快速手柄扳到反向快速位置，行程开关 SQ8 被压动，接触器 KM5 得电动作，快速移动电动机反转。

（6）主轴进刀与工作台互锁

为了防止机床或刀具的损坏，主轴箱和工作台的机动进给在电路上必须互相联锁，即不能同时接通，通过行程开关 SQ5 和 SQ6 来实现的。当同时有两种进给时，行程开关 SQ5 和 SQ6 都被压下，切断了控制回路电源，避免了机床或刀具的损坏。

4.2　T68 卧式镗床的电气控制 PLC 改造

4.2.1　T68 改造说明与电路设计

根据 T68 卧式镗床的工作过程和已有继电器控制的电气参数，选择 FX2N 可编程序控制器进行改造。首先考虑保证原有控制功能不变，尽量保留原来的电气元件，不添加新的元件。主电路不变，PLC 电源电压为交流 220V，接触器线圈负载电源为交流 110V。照明电路和指示灯电路不作改造，不同电源类型的负载使用不同的输出端口 COM，采用继电器输出方式，其中输入点数为 18，输出点数为 8，总点数为 26，选用 FX2N—48MR 能够满足要求。在设计过程中，有以下三点需要特别说明：

1）在改造过程中利用辅助继电器 M3、M4、M5，M3 为反转反接制动，M4 为正转反接制动，M5 为变速调整，既有利于理清逻辑关系，简化梯形图，又有利于调试控制程序。

2）可以不用速度继电器的动断触点 KS-3 和输入继电器 X20，而利用 KS-1 和 KS-2 对应的输入继电器 X16 和 X17，通过串联它们的常闭触点来代替 X20，效果一样。在输入继电器端口不足的情况下，采用这种方法是不错的。

3）在改造过程中，将原来的中间继电器 KA1 和 KA2 用辅助继电器 M1 和 M2 代替，时间继电器 KT 用定时器 T0 代替，减少了电气元件，提高了系统的可靠性。

T68 卧式镗床是应用最广泛的一种镗床，但其原电气控制电路为继电器控制方式，接触器触点多，线路复杂，故障多，操作人员维修任务较繁重，经过 PLC 改造后，大大简化了控制电路。

利用 PLC 改造 T68 电气控制，主电路、照明电路、指示灯电路不变，改造后的电气原理图如图 4-2 所示，PLC 的逻辑元件分配情况见表 4-2。

表 4-2　PLC 逻辑元件分配表

电气元件	逻辑元件	作　　用	电气元件	逻辑元件	作　　用
SB1	X0	正转长动按钮	KS-3	X20	速度继电器停转触点
SB2	X1	反转长动按钮	FR1	X21	热继电器触点
SB3	X2	正转点动按钮	KM1	Y0	主电动机正转接触器
SB4	X3	反转点动按钮	KM2	Y1	主电动机反转接触器
SB5	X4	主电动机停止按钮	KM3	Y2	限流电阻短路接触器
SQ	X15	高、低速转换行程开关	KM4	Y3	快速电动机正转接触器
SQ1	X5	主轴变速用行程开关	KM5	Y4	快速电动机反转接触器
SQ2	X6	主轴变速用行程开关	KM6	Y5	主电动机接触器
SQ3	X7	进给变速用行程开关	KM7	Y6	主电动机接触器
SQ4	X10	进给变速用行程开关	KM8	Y7	主电动机接触器
SQ5	X11	工作台与主轴进给用行程开关	—	T0	高、低速转换延时（代替改造前的 KT）
SQ6	X12	工作台与主轴进给用行程开关	—	M1	正转状态
SQ7	X13	快速电动机正转作用行程开关	—	M2	反转状态
SQ8	X14	快速电动机反转作用行程开关	—	M3	反转反接制动
KS-1	X16	速度继电器反转触点	—	M4	正转反接制动
KS-2	X17	速度继电器正转触点	—	M5	变速时瞬时点动

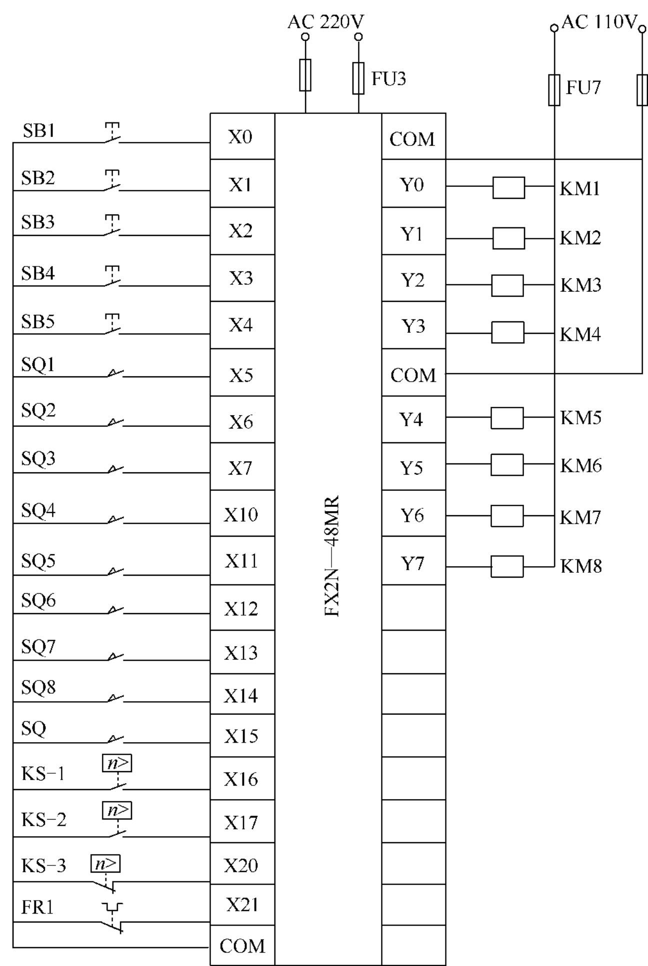


图 4-2 PLC 改造 T68 电气原理图

4.2.2 T68 的 PLC 程序设计与说明

根据 T68 的控制要求和逻辑控制关系，结合 PLC 的逻辑元件分配情况，设计出的控制梯形图如图 4-3 所示。

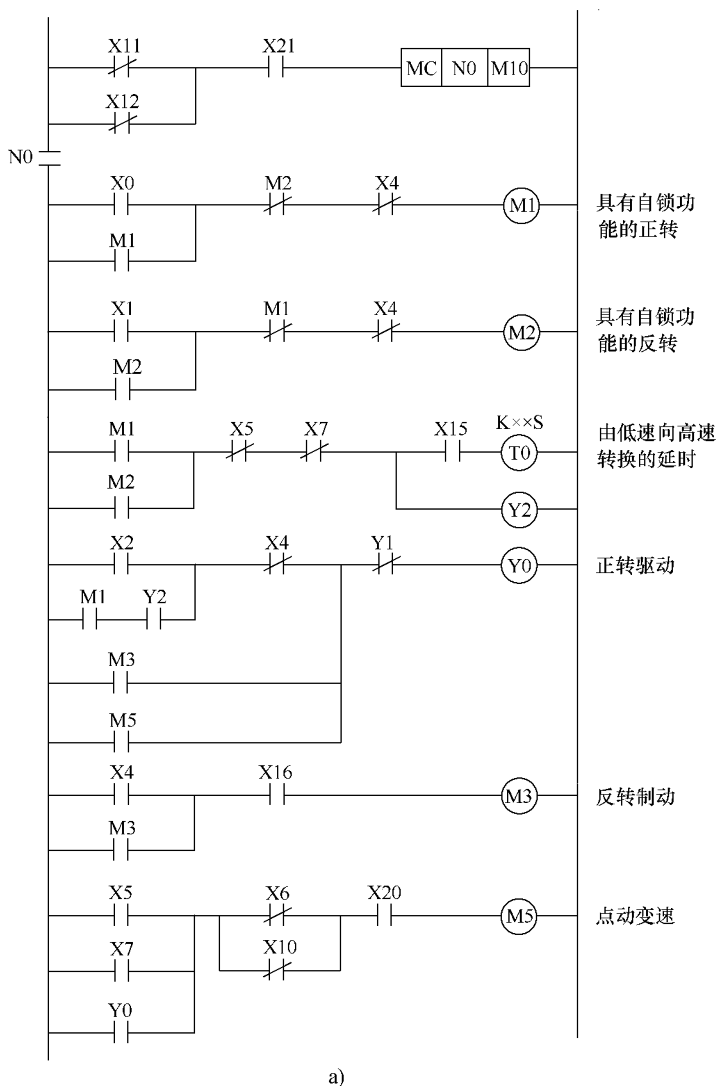
(1) 主控部分

对主轴进刀与工作台互锁的行程开关 SQ5 和 SQ6 触点对应的输入继电器 X11 和 X12 取反后并联，然后串入热继电器常闭触点对应的输入继电器 X21，将它们作为主控条件。当两个行程开关同时被压下时，或者主电动机过载，就会切断主控元件 M10，主控条件不成立，后面的程序都不会执行，系统不工作。采用主控指

令 MC 和 MCR，简化了梯形图。

（2）主电动机的起动控制

按下按钮 SB1，输入继电器 X0 为 ON，驱动辅助继电器 M1 线圈逻辑回路导通，M1 线圈为 ON 并自锁，M1 驱动输出继电器 Y2 线圈逻辑回路导通，Y2 为 ON，Y2 使接触器 KM3 线圈回路闭合得电，主触点闭合，短接限流电阻 R，另外 M1 和 Y2 驱动输出继电器 Y0 线圈逻辑回路导通并自锁，Y0 驱动接触器 KM1 线



a)

图 4-3 PLC 改造 T68 控制梯形图

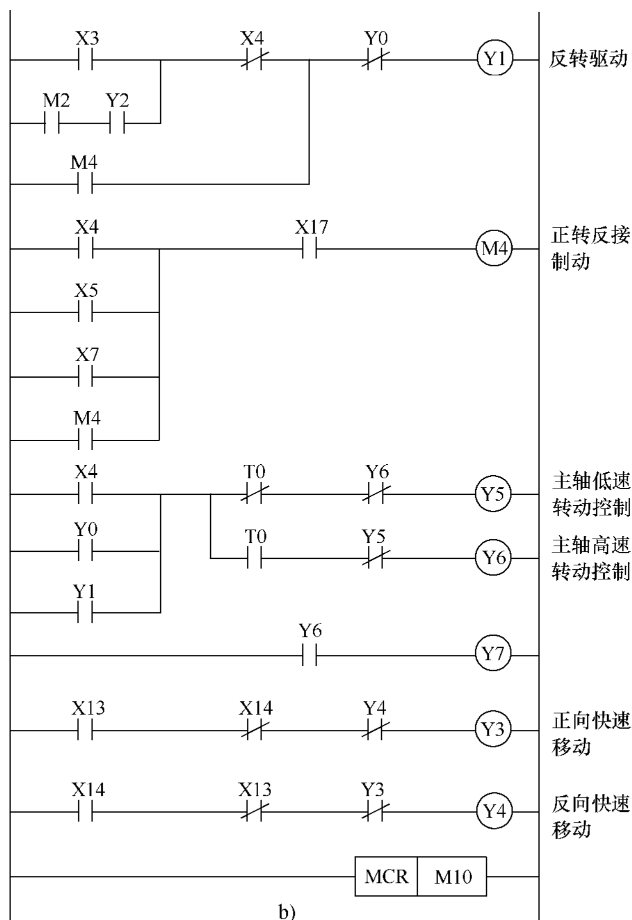


图 4-3　PLC 改造 T68 控制梯形图(续)

圈回路导通得电,KM1 主触点闭合;Y0 驱动输出继电器 Y5 回路导通,Y5 使接触器 KM6 线圈回路闭合得电。因此,电动机 M1 得电以后,驱动接触器 KM3、KM1、KM6 闭合,电动机 M1 绕组连接成三角形联结,以低速正转。

当按下按钮 SB2 时,将驱动各元件的动作过程是:输入继电器 X1 为 ON→辅助继电器 M2 逻辑回路导通并自锁→输出继电器 Y2 线圈逻辑闭合→Y2 驱动接触器 KM3 线圈得电→输出继电器 Y1 线圈回路闭合→接触器 KM2 线圈得电→输出继电器 Y5 逻辑回路闭合→驱动接触器 KM6 得电,所以主电路中 KM3、KM2、KM6 的主触点闭合,电动机 M1 为三角形联结,以低速正转。

正转点动:当按下按钮 SB3 时,输入继电器 X2 得电,驱动 Y0 回路导通,但没有自锁,Y0 使接触器 KM1 回路闭合得电,KM1 主触点闭合。Y0 驱动输出继电

器 Y5 为 ON，接触器 KM6 得电，电动机 M1 主电路中的 KM1 和 KM6 得电，限流电阻 R 接入主电路，M1 只能作点动正转控制。点动反转控制与点动正转控制类似。

如果需要高速运转，则需要将行程开关 SQ 置于闭合位置，输入继电器 X15 为 ON，然后先低速起动，经过延时，速度提高后再切换为高速，其正转驱动过程如下：按下按钮 SB1→输入继电器 X0 为 ON→辅助继电器 M1 得电并自锁→输出继电器 Y2 为 ON→接触器 KM3 线圈得电→计时器 T0 开始计时→输出继电器 Y0 为ON→接触器 KM1 线圈得电→输出继电器 Y5 为 ON→接触器 KM6 线圈得电，此时 KM1、KM3、KM6 得电，低速正转。当 T0 计时时间到→其常闭触点断开接触器 KM6 线圈→输出继电器 Y6、Y7 为 ON→接触器 KM7、KM8 线圈闭合，主电路中 KM1、KM3、KM7、KM8 四个接触器主触点闭合，电动机绕组连接成双星形联结，作高速正转。在改造过程中，将通电延时时间继电器用逻辑元件 T0 代替。

同样，在反转时先接通 PLC 的元件 X15、X1、M2、Y2、T0、Y1、Y5，电动机作低速反转，经过 T0 延时后，由 T0 动断触点（取反）切断 Y5，接通 Y6、Y7，使接触器 KM2、KM7、KM8 得电，主触点闭合，电动机反转。

（3）主轴制动

以正转制动为例，当按下制动按钮 SB5 时，输入继电器 X4 为 ON，取反后，将切断逻辑元件 M1、M2、Y0、Y2。使接触器 KM1、KM3 断电，正转主电路断开，同时，电动机在高速下转动，速度继电器正转触点 KS-2 闭合，输入继电器 X17 为 ON，X4 的动合触点驱动辅助继电器 M4 线圈得电，M4 驱动输出继电器 Y1 逻辑回路导通，Y1 为 ON，此时接触器 KM2 和 KM6 线圈在输出继电器 Y1 和 Y5 驱动下闭合，电动机主电路为正转情况下的反接状态，产生反转制动力矩，转速迅速下降，当转速低到一定程度时，速度继电器触点 KS-2 断开，输入继电器 X17 为 OFF，辅助继电器 M4 断开（在 M4 得电时，Y1 线圈不能自锁），Y1 线圈回路断开，驱动接触器 KM2 断电，主电路切断。

反转制动过程是由停止按钮对应的输入继电器 X4 切断 M1、M2、Y1、Y2，然后又接通逻辑元件 M3、Y0，接通正转主电路，产生制动力矩。控制过程类似。

（4）主运动和进给运动点动变速

主轴速度变换时，拉出变速孔盘，压下行程开关 SQ1（主运动变速调整）；输入继电器 X5 为 ON，进给变速时，其变速孔盘则压下行程开关 SQ3（进给运动变速调整），输入继电器 X7 为 ON，由于电动机尚未转动，速度继电器的动断触点 KS-3 闭合，输入继电器 X20 为 ON，所以辅助继电器 M5 逻辑回路导通，M5 线圈得电为 ON，其触点驱动输出继电器 Y0 逻辑回路导通，接触器 KM1 线圈得电，电动机转动，同时 SQ1（或 SQ3）的动断触点断开，Y2 回路不能导通，则接触器 KM3 断电。所以电动机以较小的电流起动正转，但不能自锁，当速度提高到一定数值后，KS-3 断开，KS-2 接通，输入继电器 X20 为 OFF，X17 为 ON，则辅助继电器 M5 线圈断

开，Y0 断电，而 X17 驱动辅助继电器 M4 得电，输出继电器 Y1 得电，电动机反接制动。这样，不断调整两个待啮合齿轮的相对位置，直到能够将变速盘推入，松开行程开关 SQ1 或 SQ3 为止。

（5）快速电动机移动控制

快速手柄扳到正向快速位置时，行程开关 SQ7 被压动，输入继电器 X13 得电为 ON，驱动输出继电器 Y3 逻辑回路导通，Y3 线圈为 ON，接触器 KM4 线圈电路闭合，得电动作，接通快速移动电动机 M2 正转主电路。电动机正转，通过对应的机械传动机构，带动主轴箱、工作台或主轴快速移动，快速手柄扳到反向快速位置，行程开关 SQ8 被压动，输入继电器 X14 得电，切断 Y3 逻辑回路，KM4 不能接通，达到互锁的目的，同时接通输出继电器 Y4 逻辑回路，驱动接触器 KM5 得电动作，快速移动电动机反转。

4.3 T4240B 立式双柱坐标镗床电气控制解析

4.3.1 T4240B 的工艺特点与控制要求

1. 工艺特点

坐标镗床是一种高精度机床。它具有测量坐标位置的精密测量装置，而且这种机床的主要零部件的制造和装配精度很高，并有良好的刚性和抗振性，所以它主要用来镗削精密的孔（IT5 级或更高）和位置精度要求很高的孔系（定位精度达 0.002～0.01mm），如钻模、镗模等的精密孔。

坐标镗床的工艺范围很广，除镗孔、钻孔、扩孔、铰孔、精铣平面和沟槽外，还可进行精密刻线和划线，以及孔距和直线尺寸的精密测量等工作。坐标镗床过去主要用于工具车间作单件生产，近年来也逐渐应用到生产车间，成批地加工要求精密孔距的零件，如飞机、汽车、拖拉机、内燃机和机床等行业中加工某些箱体类零件的轴承孔。

坐标镗床按其布局和形式的不同，可分为立式单柱式坐标镗床、立式双柱式坐标镗床和卧式坐标镗床等主要类型。

（1）坐标测量装置

坐标镗床可以获得准确的定位精度和高的表面加工质量，除了主要零部件制造精度较高、结构上采取防止爬行（采用滚动导轨）、足够高的刚度、减少变形等措施以外，精密的测量装置对保证机床的加工精度起了重大的作用。常见的坐标测量装置有三种：带校正尺的精密丝杠坐标测量装置、光屏—金属刻线尺光学坐标测量装置及光栅坐标测量装置。T4240B 所用的坐标测量装置是光屏—金属刻线尺光学坐标测量装置，其原理是精密线纹尺固定在工作台上，并作为滑板和工作台移动的长度基准，通过一系列光学系统装置，将线纹尺的线纹间距放大，并成像在光屏上，当移动工作台时，被放大的线纹尺上的刻线也在光屏中移动，这样在光屏中

的分划板上即可精确地测定工作台移动的距离。

采用光屏读数器定位的主要特点是定位精度高，而且定位系统是非接触性的，故不会受机械磨损的影响，可长期保持高的定位精度。

(2) 机床的运动

1) 表面成形运动。镗孔时，需要两个成形运动，一个是主轴套筒中的主轴作旋转运动，使镗刀进行切削，称为主运动；另一个是主轴套筒带动主轴作轴向移动，称为轴向进给运动。

铣削加工时，除了主轴旋转(主运动)外，还有两个方向的进给运动，一个是纵向进给运动，由工作台沿床身导轨作纵向移动来完成；另一个是横向进给运动，由主轴箱沿横梁横向运动来完成。这两个进给运动也用来实现两个坐标的精确定位。

2) 辅助运动。为了使主轴箱的位置适应不同高度工件加工的需要，装有主轴箱的横梁可沿立柱的导轨作垂直方向的调整运动。

(3) 机床的传动系统

按机床的运动分为以下几条传动链：

1) 主运动传动链：由主轴电动机到主轴。

2) 主轴轴向进给传动链：由主轴到齿轮轮条。

3) 工作台纵向进给传动链：由纵向进给电动机到工作台丝杠。

4) 主轴箱横向进给传动链：由横向进给电动机到主轴箱丝杠。

5) 横梁升降传动链：由电动机到横梁丝杠。

2. 电力拖动及控制要求分析

T4240B 立式双柱坐标镗床上配置五台三相笼型异步电动机，各电动机的控制要求如下：

(1) 主电动机的控制要求

主电动机 M1 完成主轴运动的拖动。主轴运动要求电动机能够直接起动，为加工、调整方便，需要具有点动功能。制动方式为机械制动。

(2) 冷却泵电动机的控制要求

冷却泵电动机 M2 在加工时带动冷却泵工作提供切削液，采用直接起动，并为连续工作状态。冷却电动机必须在主电动机起动后才能起动。

(3) 横梁电动机的控制要求

横梁电动机 M3 用于拖动横梁上、下运动，采用直接起动，并能实现正、反转。

(4) 工作台电动机的控制要求

工作台电动机 M4 用于拖动工作台的前后运动，采用直接起动，并能实现正、反转。

(5) 溜板电动机的控制要求

快速移动电动机 M5 用于拖动溜板箱带动刀架左右移动，采用直接起动，并能实现正、反转。

4.3.2　T4240B 电路控制分析说明

T4240B 立式双柱坐标镗床的电气控制系统电路图如图 4-4 所示，图示所用的电气元件符号与功能说明见表 4-3。下面分析其工作过程。

1. 电气控制线路的特点

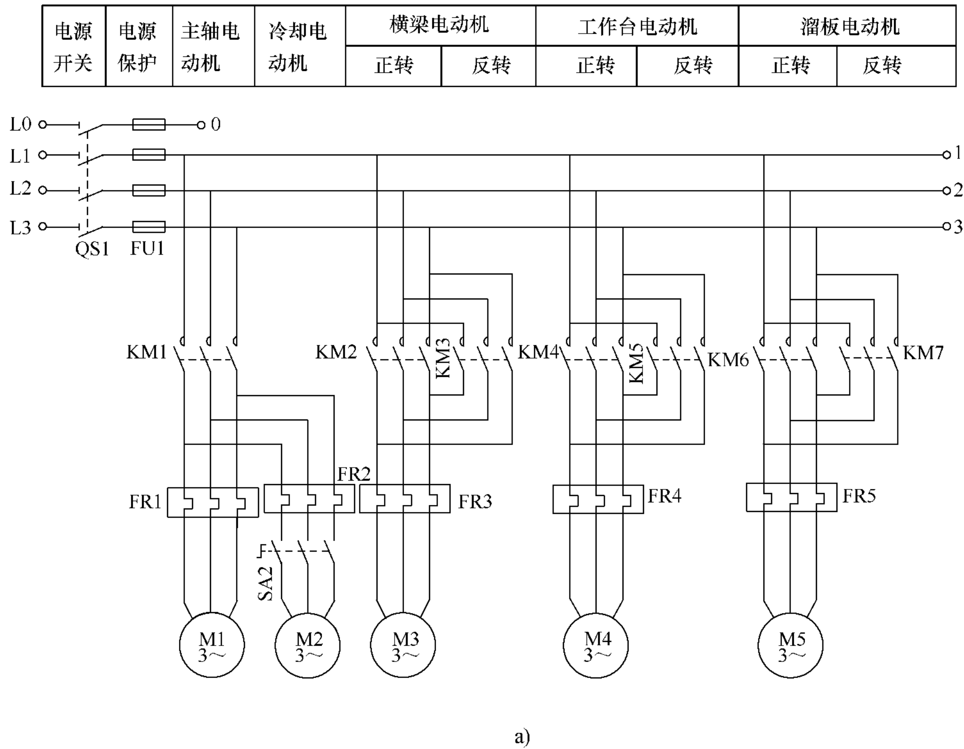
1）用行程开关 SQ1、SQ4、SQ7 分别作为工作台、横梁、溜板的卡紧联锁装置，只有当各部分放松后，其相应的行程开关闭合，才能通过电气控制移动。

2）用行程开关 SQ2、SQ3 作为横梁上升与下降的极限位置保护开关。用 SQ5、SQ6 作为工作台向前与向后的极限位置保护开关。用 SQ8、SQ9 作为溜板向左与向右的极限位置保护开关。

3）过载保护利用了热继电器 FR1～FR5，它们分别作为主轴电动机、冷却电动机、横梁电动机、工作台电动机、溜板电动机的过载保护。

4）短路保护利用了熔断器 FU1～FU4，它们分别作为主电路和控制电路的电源短路保护。

T4240B 的电气原理图如图 4-4 所示，低压电气元件表见表 4-3。



电源开关	电源保护	主轴电动机	冷却电动机	横梁电动机		工作台电动机		溜板电动机	
				正转	反转	正转	反转	正转	反转

a)

图 4-4　T4240B 电气原理图

主轴电动机控制	横梁电动机控制	工作台电动机控制	溜板电动机控制	纵向光屏控制	横向光屏控制	变压器	照明灯	圆转台，纵、横向光屏	指示灯控制						
									主轴开	横梁上升	横梁下降	工作台后	工作台前	溜板向左	溜板向右

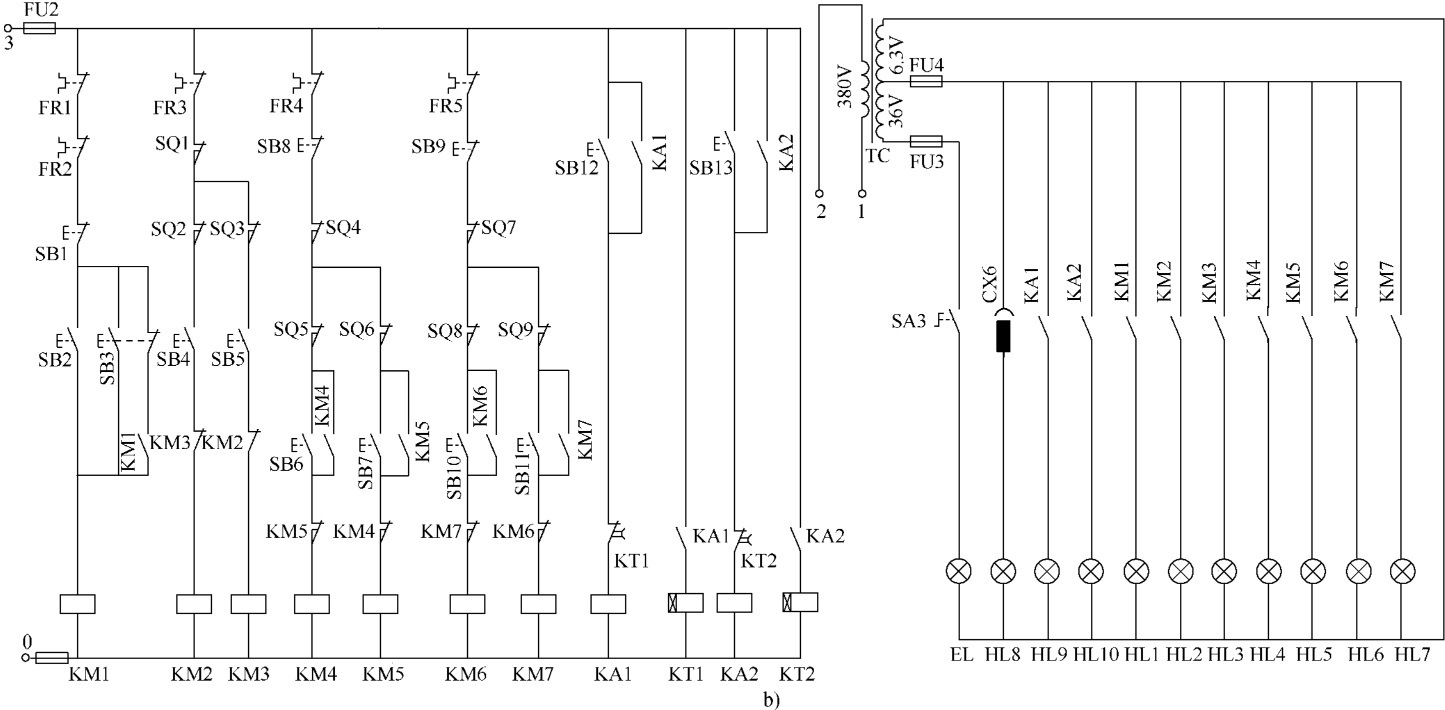


图 4-4　T4240B 电气原理图（续）

表 4-3　低压电气元件表

符号	名称及作用	符号	名称及作用
M1	主轴电动机	SB4、SB5	横梁电动机控制按钮
M2	冷却电动机	SB6～SB8	工作台电动机控制按钮
M3	横梁电动机	SB9～SB11	溜板电动机控制按钮
M4	工作台电动机	SB12、SB13	纵、横向光屏控制按钮
M5	溜板电动机	SQ1	横梁电动机微动开关
FR1～FR5	热继电器	SQ2、SQ3	横梁电动机上、下行程开关
FU1～FU4	主电路熔断器	SQ4	工作台电动机微动开关
TC	控制变压器	SQ5、SQ6	工作台电动机前、后行程开关
KT1、KT2	通电延时时间继电器	SQ7	溜板电动机微动开关
EL	照明灯	SQ8、SQ9	溜板电动机左、右行程开关
SA3	照明开关	KM1	主轴、冷却电动机接触器
KA1、KA2	中间继电器	KM2、KM3	横梁电动机正、反转接触器
SA2	冷却电动机开关	KM4、KM5	工作台电动机正、反转接触器
HL1～HL10	指示灯	KM6、KM7	溜板电动机正、反转接触器
SB1～SB3	主电动机控制按钮	—	—

2. 电路分析说明

(1) 主轴控制

按下按钮 SB3，其常开触点闭合，常闭触点断开，切断 KM1 线圈的自锁回路，KM1 线圈得电，主轴电动机 M1 转动，同时 KM1 的辅助常开触点闭合，指示灯 HL1 亮。松开按钮 SB3，KM1 线圈失电，电动机停止转动，主轴停止，从而实现主轴的点动，主轴电动机只需实现正转。主轴电动机的点动控制，主要满足对刀、调整的需要。

按下按钮 SB2，KM1 线圈得电吸合并自锁，KM1 常开触点闭合，主轴电动机主电路接通，M1 转动，通过传动系统使主轴回转。

在电动机 M1 工作时，按下按钮 SB1，其常闭触点断开，KM1 线圈断电，KM1 常开触点断开，电动机 M1 停止，主轴也停止转动，指示灯 HL1 熄灭。

（2）冷却电动机的转动

只有当主轴电动机起动后，接触器 KM1 主触点闭合，冷却电动机 M2 才能起动，主轴电动机停止，冷却电动机也停止。主轴电动机起动后，将转换开关 SA2 调到开启位置，冷却电动机主电路接通，为切削加工提供切削液。

（3）横梁的移动

先放松锁紧装置，行程开关 SQ1 复位，常闭触点闭合，这时按下按钮 SB4，线圈 KM2 得电吸合，横梁电动机 M3 正转，通过传动系统实现横梁的上升运动，同时指示灯 HL2 亮。当横梁运动至行程开关 SQ2 处时，压下 SQ2，使电路断开，横梁电动机停止转动，实现极限行程保护。KM2 常闭触点断开，与 KM3 实现互锁保护。

当按下按钮 SB5，线圈 KM3 得电吸合，横梁电动机反转，通过传动系统实现横梁的下降运动，指示灯 HL3 亮。当横梁运动至行程开关 SQ3 处时，压下 SQ3，使 KM3 线圈电路断电，横梁电动机停止转动，实现下行极限行程保护。

（4）工作台的移动

先放松锁紧装置，行程开关 SQ4 复位，其常闭触点闭合。这时，按下按钮 SB6，接触器 KM4 线圈得电吸合并自锁，工作台电动机 M4 正转，通过传动系统实现工作台的向后运动，同时指示灯 HL4 亮。当工作台运动至行程开关 SQ5 处时，压下行程开关 SQ5，KM4 线圈电路断开，工作台电动机 M4 停止转动，实现向后极限行程保护。KM4 常闭触点断开，与接触器 KM5 实现互锁保护。

按下按钮 SB7，接触器 KM5 线圈得电吸合并自锁，工作台电动机 M4 反转，通过传动系统实现工作台的向前运动，KM5 的常开触点闭合，指示灯 HL5 亮。当工作台运动至行程开关 SQ6 处时，压下 SQ6，使 KM5 线圈电路断开，工作台电动机停止转动，实现前进方向的极限行程保护。

按下按钮 SB8，接触器 KM4 和 KM5 线圈电路断开，线圈 KM4、KM5 均失电，工作台电动机 M4 停止转动。

（5）溜板的移动

先放松锁紧装置，行程开关 SQ7 复位，常闭触点闭合。这时按下按钮 SB10，KM6 线圈得电吸合并自锁，KM6 主触点闭合，溜板电动机 M5 正转，通过传动系统实现溜板的向右运动，KM6 的常开触点闭合，指示灯 HL6 亮。当工作台运动至行程开关 SQ8 处时，压下 SQ8，使接触器 KM6 线圈电路断开，溜板电动机停止转动，实现向右极限行程保护。KM6 常闭触点断开，与接触器 KM7 实现互锁保护。

按下按钮 SB11，KM7 线圈得电吸合并自锁，溜板电动机 M5 反转，通过传动

系统实现溜板的向左运动，指示灯 HL7 亮，当工作台运动至行程开关 SQ9 处时，压下 SQ9，使 KM7 线圈电路断开，电动机 M5 停止转动，实现向左极限行程保护。

按下按钮 SB9，接触器 KM6、KM7 线圈电路均失电，溜板电动机停止转动。

（6）光屏的控制

1）纵向光屏的控制。按下按钮 SB12，中间继电器 KA1 线圈得电吸合并自锁，KA1 常开触点闭合，纵向光屏灯亮。同时时间继电器 KT1 线圈得电吸合，待定时间到，KT1 常闭触点断开，KA1 线圈失电，其常开触点断开，纵向光屏灯熄灭。

2）横向光屏的控制。按下按钮 SB13，中间继电器 KA2 线圈得电吸合并自锁，KA2 常开触点闭合，横向光屏灯亮。同时时间继电器 KT2 线圈得电吸合，定时完成以后，KT2 常闭触点断开，KA2 线圈失电，其常开触点断开，横向光屏灯熄灭。

3）圆转台光屏的控制。圆转台光屏灯是通过插销插座实现的，CX6 接电后，圆转台光屏灯亮，断电后熄灭。

（7）照明灯的控制

照明灯的开停是由转换开关 SA3 控制的。

4.4 T4240B 立式双柱坐标镗床的电气控制 PLC 改造

4.4.1 T4240B 改造说明与电路设计

根据 T4240B 立式双柱坐标镗床的工作过程和已有继电器控制的电气参数，选择 FX2N 可编程序控制器进行改造，主电路不变，原来的低压电气元件尽量保留，用于 PLC 改造。输出端口采用继电器输出方式，结合输入、输出总点数，选用 FX2N—48MR 能够满足要求。

主要措施如下：

1）所有接触器线圈和指示灯负载都直接与 PLC 的输出端口相连。

2）去掉控制光屏的中间继电器，直接用光屏指示灯对应的输出继电器控制。

3）需要互锁的接触器在 PLC 的输出控制回路中实现互锁。

4）冷却泵控制不变。

经过改造和控制程序设计后的 T4240B 立式双柱坐标镗床电路图如图 4-5 所示，主电路不变，如图 4-4a 所示，低压电气元件与逻辑元件之间的对应关系见表 4-4。

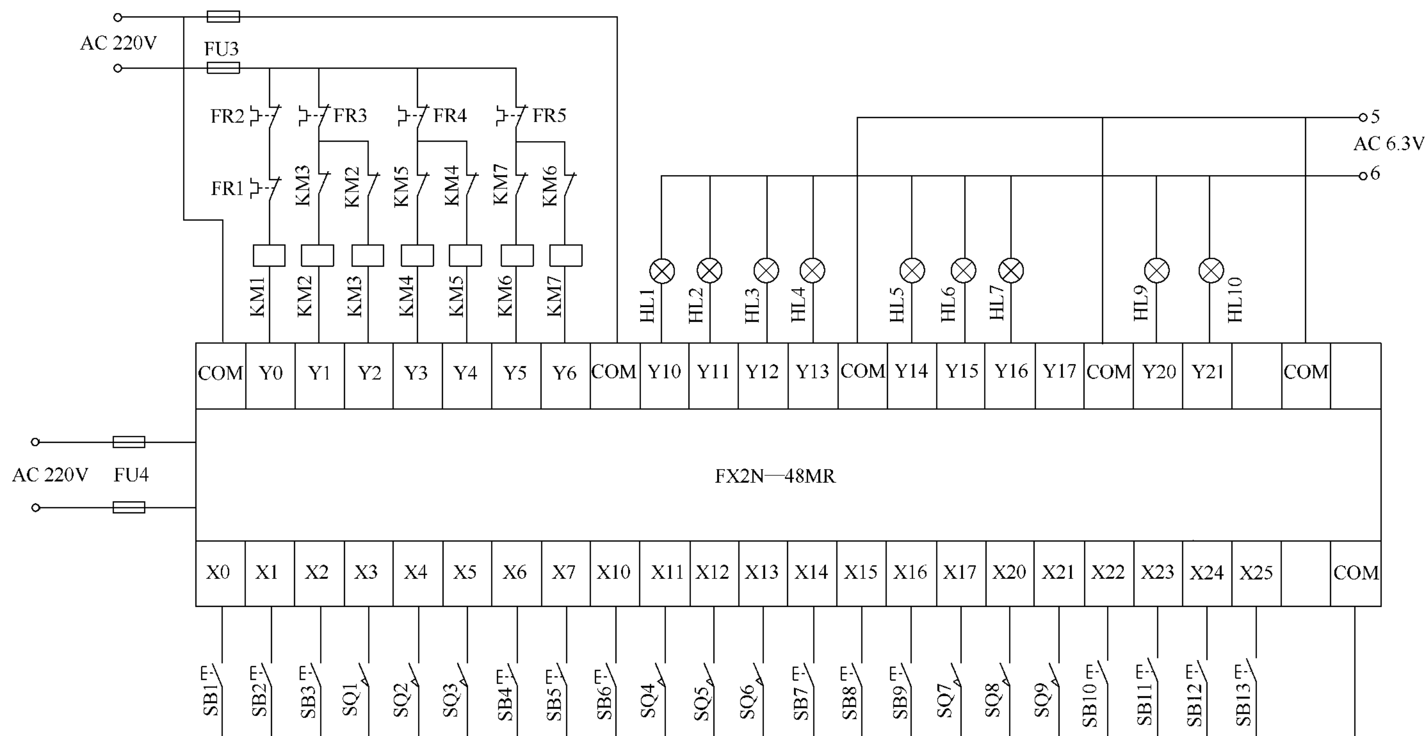


图4-5　PLC改造T4240B立式双柱坐标镗床电路图

表4-4 低压电气元件与逻辑元件分配表

电气元件	作用	逻辑元件	电气元件	作用	逻辑元件
SB1	主轴、冷却电动机总停按钮	X0	SQ7	溜板电动机微动开关	X17
SB2	主轴、冷却电动机长动按钮	X1	SQ8	溜板电动机行程开关(右)	X20
SB3	主轴、冷却电动机点动按钮	X2	SQ9	溜板电动机行程开关(左)	X21
SB4	横梁电动机正转起动按钮	X6	KM1	主轴、冷却电动机起动接触器	Y0
SB5	横梁电动机反转起动按钮	X7	KM2	横梁电动机正转接触器	Y1
SB6	工作台电动机正转起动按钮	X10	KM3	横梁电动机反转接触器	Y2
SB7	工作台电动机反转起动按钮	X14	KM4	工作台电动机正转接触器	Y3
SB8	工作台电动机总停按钮	X15	KM5	工作台电动机反转接触器	Y4
SB9	溜板电动机总停按钮	X16	KM6	溜板电动机正转接触器	Y5
SB10	溜板电动机正转起动按钮	X22	KM7	溜板电动机反转接触器	Y6
SB11	溜板电动机反转起动按钮	X23	HL1	主轴开启指示灯	Y10
SB12	纵向光屏控制按钮	X24	HL2	横梁上升指示灯	Y11
SB13	横向光屏控制按钮	X25	HL3	横梁下降指示灯	Y12
SQ1	横梁电动机微动开关	X3	HL4	工作台向后指示灯	Y13
SQ2	横梁电动机行程开关(上)	X4	HL5	工作台向前指示灯	Y14
SQ3	横梁电动机行程开关(下)	X5	HL6	溜板向右指示灯	Y15
SQ4	工作台电动机微动开关	X11	HL7	溜板向左指示灯	Y16
SQ5	工作台电动机行程开关(后)	X12	HL9	纵向光屏灯	Y20
SQ6	工作台电动机行程开关(前)	X13	HL10	横向光屏灯	Y21

4.4.2 T4240B程序设计与说明

结合T4240B的工作特点、控制要求、PLC输入/输出端口分配情况,设计得到T4240B立式双柱坐标镗床的PLC控制梯形图,如图4-6所示。

(1)主轴控制

按下按钮SB3,输入继电器X2为ON,使输出继电器Y0线圈逻辑回路导通,Y0为ON,驱动接触器KM1线圈电路闭合,KM1主触点闭合,主轴电动机M1得

电转动，通过传动系统使主轴回转。同时输出继电器 Y10 为 ON，指示灯 HL1 亮。松开按钮 SB3，输入继电器 X2 为 OFF，输出继电器 Y0 为 OFF，KM1 线圈失电，电动机停止转动。

当按下按钮 SB2，输入继电器 X1 为 ON，使输出继电器 Y0 线圈逻辑回路导通，Y0 为 ON 并自锁，驱动负载接触器 KM1 线圈得电吸合，KM1 主触点闭合，主轴电动机得电转动，为长动工作，通过传动系统使主轴回转。同时，指示灯 HL1 亮。

主轴电动机制动时，先按下按钮 SB1，输入继电器 X0 为 ON，其常闭触点为 OFF，使输出继电器 Y0 线圈逻辑回路接触器 KM1 线圈失电，KM1 主触点断开，电动机失电停止转动，主轴也停止转动。

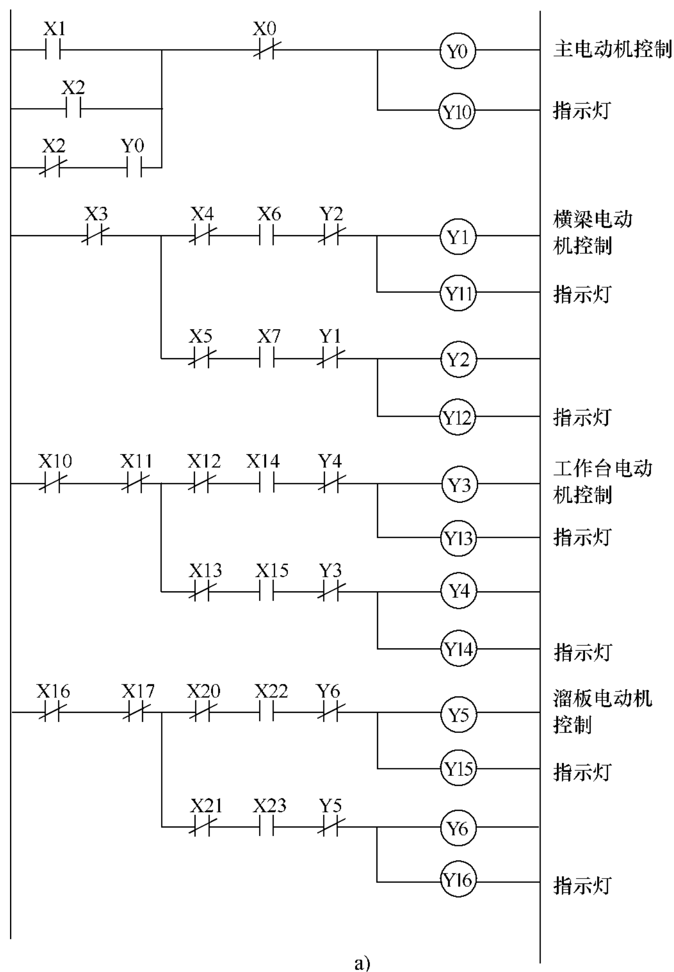


图 4-6　PLC 改造 T4240B 的控制梯形图

b)

图 4-6　PLC 改造 T4240B 的控制梯形图(续)

(2) 冷却电动机的转动

只有当主轴电动机起动后,冷却电动机才能起动,主轴电动机停止,冷却电动机也停止。通过 PLC 控制接触器 KM1 得电后,KM1 主触点闭合,这时直接将开关 SA2 闭合,冷却泵工作。

(3) 横梁的移动

横梁上升时,先放松锁紧装置,行程开关 SQ1 复位,常开触点断开,输入继电器 X3 为 OFF,取反后的常闭触点为 ON,这时按下按钮 SB4,输入继电器 X6 为 ON,输出继电器 Y2 逻辑回路导通,Y2 为 ON,驱动负载接触器 KM2 线圈得电吸合,其主触点闭合,横梁电动机正转,通过传动系统实现横梁的上升运动,同时指示灯 HL2 亮。当横梁运动至行程开关 SQ2 处时,压下 SQ2,输入继电器 X4 为 ON,取反后的常闭触点断开,Y2 为 OFF,使接触器 KM2 电路断开,横梁电动机停止转动,从而实现上行极限位置保护。

横梁下降时,按下按钮 SB5,输入继电器 X7 为 ON,输出继电器 Y3 线圈逻辑回路导通,驱动接触器 KM3 线圈得电吸合,其主触点闭合,M3 主电路两相对调,横梁电动机反转,通过传动系统实现横梁的下降运动,同时指示灯 HL3 亮。当横梁运动至行程开关 SQ3 处时,压下 SQ3,输入继电器 X5 为 ON,取反后的常闭触点断开,使电动机 M3 电路断开,停止转动,从而实现下行极限位置保护。

(4) 工作台的移动

工作台向后运动时,先放松锁紧装置,行程开关 SQ4 断开,输入继电器 X6 为 OFF,取反后的常闭触点为 ON,这时按下按钮 SB7,输入继电器 X14 为 ON,其常开触点闭合,输出继电器 Y3 逻辑回路导通,得电并自锁,驱动接触器 KM4 线圈得电吸合,其主触点闭合,接通工作台电动机,工作台电动机正转,通过传动系统实现

工作台的向后运动,同时指示灯 HL4 亮。当工作台运动至行程开关 SQ5 处时,压下 SQ5,输入继电器 X12 为 ON,取反后为 OFF,工作台电动机停止转动,从而实现极限向后位置保护。

工作台向前运动时,按下按钮 SB8,输入继电器 X15 为 ON,输出继电器 Y4 为 ON,驱动接触器线圈 KM5 得电吸合,KM5 主触点闭合,工作台电动机反转,通过传动系统实现工作台的向前运动,同时指示灯 HL5 亮。当工作台运动至行程开关 SQ6 处时,压下 SQ6,输入继电器 X13 为 OFF,使 Y4 逻辑回路断开,工作台电动机停止转动,从而实现极限位置保护。

按下按钮 SB6,输入继电器 X10 为 ON,线圈 KM4、KM5 均失电,工作台电动机停止转动。

(5) 溜板的移动

溜板向右移动时,放松锁紧装置,行程开关 SQ7 断开,输入继电器 X17 为 ON,这时按下按钮 SB10,输入继电器 X22 为 ON,输出继电器 Y5 逻辑回路导通并自锁,驱动接触器线圈 KM6 得电,KM6 主触点闭合,溜板电动机正转,通过传动系统实现溜板的向右运动,同时指示灯 HL6 亮。当工作台运动至行程开关 SQ8 处时,压下 SQ8,输入继电器 X20 为 ON,使溜板电动机停止转动,从而实现向右极限位置保护。

溜板向左移动时,按下按钮 SB11,输入继电器 X23 为 ON,输出继电器 Y6 逻辑回路为 ON 并自锁,驱动接触器线圈 KM7 得电吸合,溜板电动机反转,通过传动系统实现溜板的向左运动,同时指示灯 HL7 亮。当工作台运动至行程开关 SQ9 处时,压下 SQ9,输入继电器 X21 常闭触点断开,使电路断开,工作台电动机停止转动,从而实现极限行程保护。

按下按钮 SB9,输入继电器 X16 为 ON,取反后为 OFF,线圈 KM6、KM7 均失电,溜板电动机停止转动。

(6) 光屏的控制

纵向光屏的控制时,按下按钮 SB12,输入继电器 X24 为 ON,输出继电器 Y20 逻辑回路导通,Y20 为 ON 并自锁,纵向光屏灯 HL9 亮起。同时定时器 T1 为 ON,计时开始,当定时完成以后,T1 常闭触点断开,输出继电器 Y20 失电,纵向光屏灯 HL9 熄灭。

横向光屏的控制时,按下按钮 SB13,输入继电器 X25 为 ON,输出继电器 Y21 逻辑回路导通并自锁,横向光屏灯 HL10 亮。同时,时间继电器 T2 线圈得电,定时开始,当定时完成以后,T2 常闭触点断开,输出继电器 Y21 断开,横向光屏灯 HL10 熄灭。

4.5 T611H移动卧式镗床电气控制分析

4.5.1 T611H的工艺特点与控制要求

1. 工艺特点

（1）主要部件及功能

T611H系可吊式落地镗床，主要是由床身、主轴箱、前立柱、后立柱、下滑座、上滑座和工作台等部分组成。

主轴箱可沿前立柱的导轨上、下移动。在主轴箱中，装有主轴、主运动和进给运动变速机构以及操纵机构。根据加工情况的不同，刀具可以装在镗杆上或平旋盘上。加工时，镗杆旋转完成主运动，并可沿轴向移动完成进给运动；平旋盘只能作旋转主运动。装在后立柱上的后支架，用于支撑悬伸长度较大的镗杆的悬伸端，以增加刚性。后支架可沿后立柱上的导轨与主轴箱同步升降，以保证其上的支撑孔与镗轴在同一轴线上。后立柱可沿床身的导轨左、右移动，以适应镗杆不同长度的需要。工件安装在工作台上，可与工作台一起随下滑座或上滑座作纵向或横向移动。工作台还可绕上滑座的圆导轨在水平平面内转动，以便加工互相成一定角度的平面或孔。当刀具装在平旋盘的径向刀架上时，径向刀架可带着刀具作径向进给，以车削端面。

T611H机床前立柱可作横向移动，并在所有移动中都能作快速运动，该机床适合于在大型工件上进行精密孔加工，具有较高的万能性，最适用于矿山、重型、造船、锅炉等企业，所采用的选择式单独操作手柄装置，能在机床开动中进行送刀和转速的变换，因此极利于送刀量大的情况下使用。

（2）运动方式

主运动——镗轴的旋转运动与花盘的旋转运动。

进给运动——镗轴的轴向进给、花盘刀具溜板的径向进给、镗头架的垂直进给、工作台的横向进给和工作台的纵向进给。

辅助运动——工作台的旋转、后立柱的水平移动、尾架的垂直移动及各部分的快速移动。

2. 控制要求

1）主轴应有较大的调速范围，且要求恒功率调速，往往采用机电联合调速。主电动机为双速电动机，低速时电动机的定子绕组为三角形联结，高速时定子绕组连接成双星形联结。

2）卧式镗床的进给运动和主运动由一台电动机拖动。为了获得较大的进给变速范围，简化传动机构，有的镗床也采用晶闸管控制或电动机放大机控制的直流

电动机调速系统。

3）变速时，为使滑移齿轮能顺利进入正常啮合位置，应有低速或断续变速冲动。

4）主轴能做正、反转低速点动调整，要求对主轴电动机实现正、反转点动控制。

5）为使主轴迅速、准确停车，主轴电动机应具有电气制动。

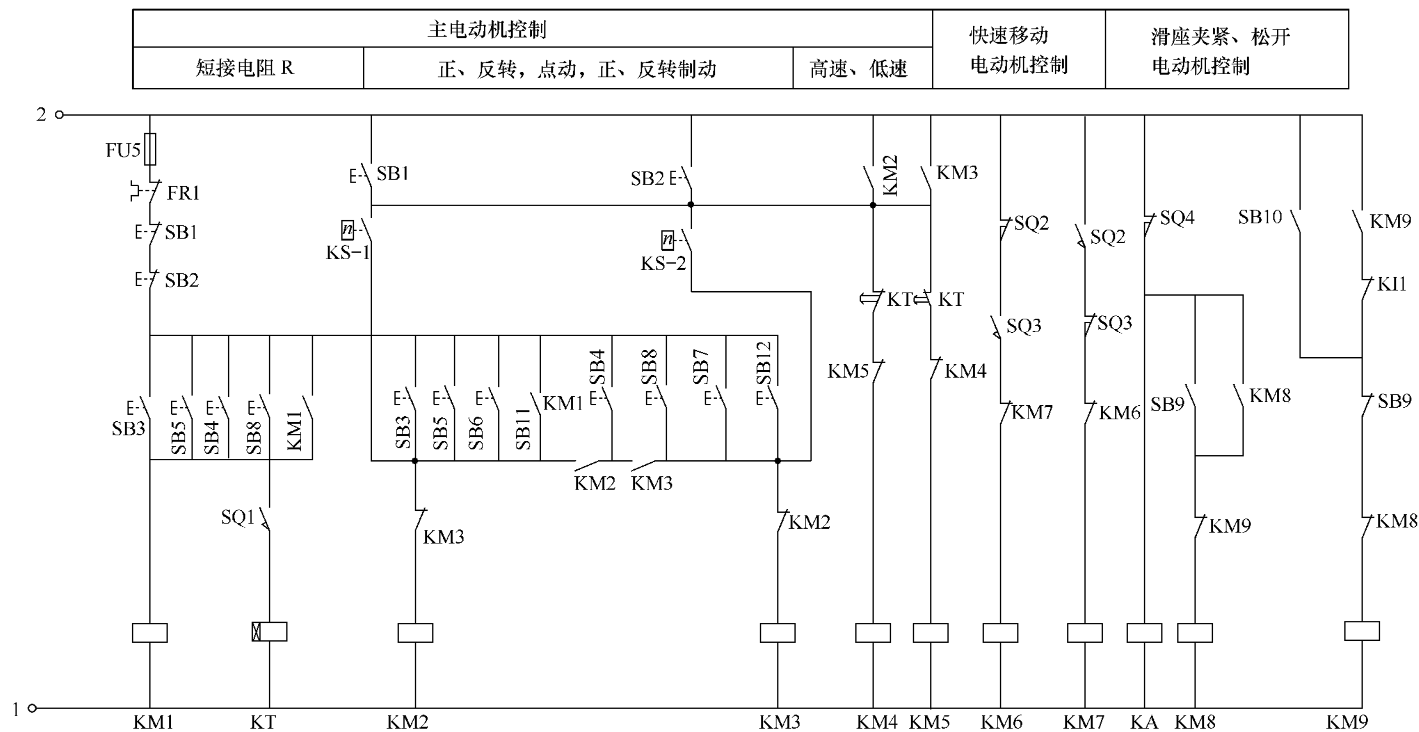
6）由于镗床运动较多，故应有必要的联锁保护以及过载或限位保护等。

4.5.2　T611H 电路控制分析说明

T611H 卧式镗床的电气控制系统电气原理图如图 4-7 所示，电气元件与功能见表 4-5。下面分析其工作过程。

a)

图 4-7　T611H 卧式镗床的电气控制原理图



b)

图 4-7　T611H 卧式镗床的电气控制原理图（续）

表 4-5 T611H 电气元件与功能说明表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	主电动机	SQ4	滑座夹紧、松开电动机行程开关
M2	快速移动电动机	SA	转换开关
M3	滑座夹紧、松开电动机	SB1、SB2	总停开关
KM1	短接电阻 R 接触器	SB3、SB4	主电动机正、反转按钮
KM2、KM3	主电动机正、反转接触器	SB6、SB7	主电动机点动按钮
KM4、KM5	主电动机高、低速转动接触器	SB9、SB10	滑座夹紧、松开电动机控制按钮
KM6、KM7	快速移动电动机正、反转接触器	SB5、SB8、SB11、SB12	主电动机多点控制按钮
KM8、KM9	滑座夹紧、松开电动机松开接触器	FU1～ FU4	熔断器
TC	控制电压器	FR1	过载保护热继电器
KA	中间继电器	R	电阻
KT	通电延时时间继电器	EL1	照明灯
KI1	过电流继电器	HL1、HL2	信号灯
SQ1	主电动机行程开关	KS-1、KS-2	速度继电器
SQ2、SQ3	快速移动电动机行程开关	—	—

1. 主电路分析

T611H 的主电路采用三相 380V、50Hz 交流电源，控制电路、照明电路、信号灯指示电路的电压分别为 127V、36V、6V，共装有三台交流异步电动机，M1 为主轴旋转及进给电动机，M2 为快速移动电动机，M3 为滑座夹紧、松开电动机。

主电动机 M1 的电路接线分为三部分，第一部分为交流接触器 KM2、KM3 的主触点，分别控制电动机 M1 的正转与反转；第二部分为交流接触器 KM1 的主触点，控制限流电阻 R 的接入与切除，在主轴点动调整时，R 的串入可限制起动电流；第三部分为交流接触器 KM4、KM5，通过通电延时时间继电器 KT 来控制电动机 M1 的高、低速转动。

快速移动电动机 M2 主要带动主轴、主轴箱、立柱滑座的快速移动，由接触器 KM6、KM7 来控制其正、反转。

滑座夹紧、松开电动机 M3 由交流接触器 KM8、KM9、中间继电器 KA 以及过电流继电器 KI1 来控制滑座夹紧和松开。

为保证主电路的正常运行，分别有熔断器FU1、FU2、FU3对电动机M1、M2、M3实现短路保护，由继电器FR对电动机M1进行过载保护。快速移动电动机M2和滑座夹紧、松开电动机M3由于工作时间短，所以不需要过载保护。

2. 控制电路分析

对图4-7b所示的控制电路部分进行分析可知，控制电路所需的127V交流电源由控制变压器TC提供。控制电路可划分为主电动机M1，快速移动电动机M2，滑座夹紧、松开电动机M3的三个局部控制电路。根据控制要求，下面对局部控制电路逐一进行分析。

（1）主电动机的控制电路

镗床主轴的正、反转是通过主电动机的正、反转来实现的，主电动机M1的起动电流并不大，在非频繁点动的一般工作时，仍可采用全压直接起动，工作控制过程如下：

当按下正向起动按钮SB3或SB5时，交流接触器KM1线圈和KM2线圈得电，KM1得电后自锁，其主触点闭合，短接限流电阻R，同时KM1辅助动合触点闭合，使得交流接触器KM2线圈得电并自锁。KM2的常闭触点断开，断开了反转控制电路，即正、反转电路有互锁作用，同时接通了主电动机M1的正转电路，主电动机M1正向直接起动。KM2的常开触点闭合也使得交流接触器KM4线圈得电，其常开触点闭合，使得电动机作低速正向直接起动。

当电动机作高速转动，将操作手柄转换到高速状态，压下行程开关SQ1，从而使通电延时时间继电器线圈KT得电。KT得电，其位于控制电路中的延时动断触点和延时动合触点动作，延时断开了交流接触器KM4线圈，并延时接通了交流接触器KM5线圈，电动机从低速运转转变为高速运转。

当按下反向起动按钮SB4或SB8时，交流接触器KM1线圈和KM3线圈得电，接通主电动机M1的反转电路，主电动机M1反向直接起动。需要高速转动时，操作手柄使行程开关SQ1闭合，从而使通电延时时间继电器线圈KT得电，延时接通交流接触器KM5线圈，电动机从低速运转转变为高速运转。

（2）主电动机的点动调整控制

调整机床时，需要点动操作，这时只要按下点动按钮SB6或SB11，此时接触器KM1没有接通，其常开触点断开了KM2的自锁回路，所以电动机M1只能在串接电阻R的情况低速点动正向运转。

当按下按钮SB7或SB12，接触器KM3线圈得电，实现主电动机的反向点动控制。

（3）主电动机的反接制动控制

镗床停车时采用反接制动方式，用速度继电器KS进行速度检测和控制，下面介绍反接制动电路的工作过程。

当电动机 M1 正转运行后，由速度继电器工作原理可知，KS 的动合触点 KS-2 闭合。当按下停止按钮 SB1 或 SB2，接触器 KM1 断电释放，时间继电器 KT、接触器 KM2、KM4、KM5 全部断电。主轴电动机 M1 断电，但此时电动机 M1 转速较高，速度继电器的触点 KS-2 闭合，所以反向接触器 KM3 线圈接通，其常开触点 KM3 闭合，又接通了接触器 KM5。KM3、KM5 的主触点闭合，使电动机 M1 主电路反接，产生制动转矩，电动机 M1 转速迅速降低。当转速降到接近零时，速度继电器触点 KS-2 断开，使 KM3、KM5 线圈断电，电动机 M1 主电路断开，正向反接制动结束。在反接过程中，由于 KM1 线圈没有得电，因此限流电阻 R 被接入主电动机电路，以限制反接制动电流。

电动机 M1 反向转动过程中的反接制动过程类似，不再叙述。

（4）快速移动电动机的控制

主轴、主轴箱、立柱滑座的快速移动，均由电动机 M2 来拖动，由接触器 KM6、KM7 来控制其正、反转，先将操作手柄置于对应位置，压下行程开关 SQ2 或 SQ3。当压下限位开关 SQ2 时，交流接触器 KM7 线圈得电，其常开触点闭合，使快速移动电动机反向转动；当压下限位开关 SQ3 时，交流接触器 KM6 线圈得电，其常开触点闭合，使快速移动电动机正向转动。在电路中，接触器 KM6 与 KM7 具有互锁作用。

（5）滑座的夹紧、松开

滑座的夹紧、松开是由电动机 M3 拖动，由接触器 KM8、KM9 控制其正、反转。夹紧时，按下按钮 SB10，接触器 KM9 吸合并自锁，夹紧电动机 M3 向夹紧方向转动，限位开关 SQ4 复位，常闭触点闭合，使中间继电器 KA 通电吸合，KA 的常开触点闭合，常闭触点断开，随着 M3 的转动，夹紧力不断增加，电动机的电流也随之加大。与滑座夹紧时，流经电流继电器 KI1 的电流值恰好达到了它的整定值，KI1 触点动作，其常闭触点断开，接触器 KM9 断电释放，电动机 M3 停止，夹紧终止。

滑座夹紧时，由于中间继电器 KA 吸合，其常闭触点断开，信号灯 HL2 熄灭，此时表明滑座在夹紧位置，不能快速移动。

当松开滑座时，按下按钮 SB9，接触器 KM8 通电吸合并自锁。电动机 M3 向滑座松开方向旋转。当滑座完全松开时，会压下行程开关 SQ4，其常闭触点断开，切断了 KA、KM9 线圈的控制回路，KA、KM9 释放，电动机 M3 断电停止。KA 常闭触点闭合，信号灯 HL2 变亮，表明滑座完全松开。

此外，控制变压器 TC 的二次侧还有一路电压为 36V（安全电压），提供给镗床照明。当开关 SA 闭合时，照明灯 EL1 点亮；开关 SA 断开时，EL1 熄灭。

4.6 T611H 移动卧式镗床电气控制 PLC 改造

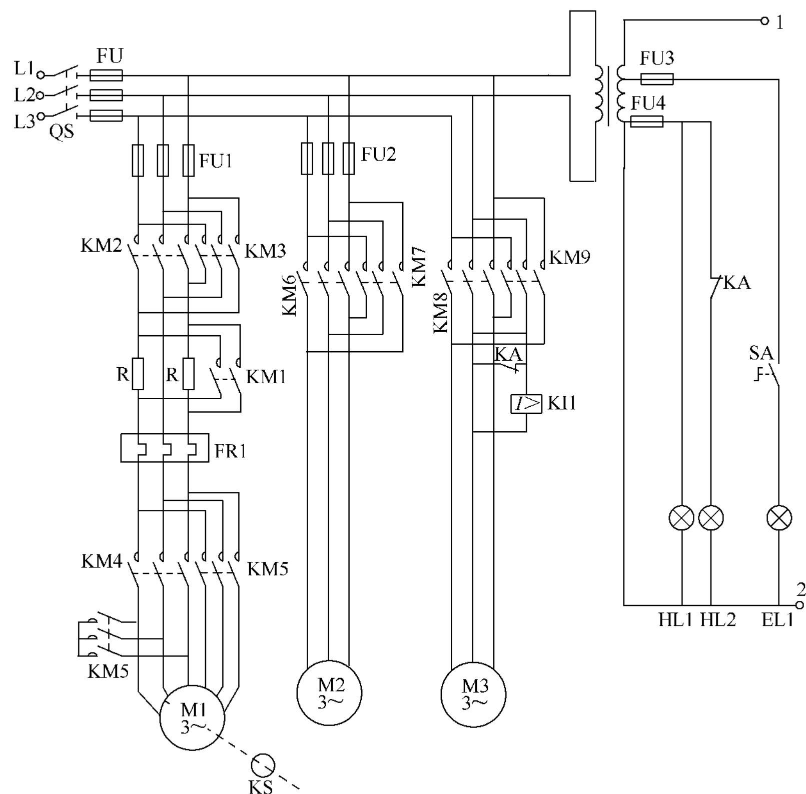
4.6.1 T611H 改造说明与电路设计

根据 T611H 的工作过程和已有继电器控制的电气参数，选择 FX2N 可编程序控制器进行改造。首先考虑保证原有控制功能不变，尽量保留原来的电气元件，不添加新的元件。主电路不变，PLC 电源电压为交流 220V，负载电源为交流 110V。输出端口采用继电器输出方式，结合输入、输出总点数，选用 FX2N—48MR 能够满足要求。

经过改造后的 T611H 电气图如图 4-8 所示，PLC 逻辑元件见表 4-6。

表 4-6 PLC 逻辑元件分配表

电气元件	作　用	逻辑元件	电气元件	作　用	逻辑元件
SB1	总停开关	X1	SQ4	滑座松开行程开关	X15
SB2	总停开关	X2	KS1	速度继电器触点	X17
SB3	M1 正转按钮	X3	KS2	速度继电器触点	X20
SB4	M1 反转按钮	X4	KI1	过电流继电器触点	X21
SB5	M1 多点控制按钮	X5	KM1	短接电阻 R 接触器	Y0
SB6	M1 正转点动按钮	X6	KM2	M1 正转接触器	Y1
SB7	M1 反转电动按钮	X7	KM3	M1 反转接触器	Y2
SB8	M1 多点控制按钮	X23	KM4	M1 低速接触器	Y3
SB9	M3 松开按钮	X10	KM5	M1 高速接触器	Y4
SB10	M3 夹紧按钮	X11	KM6	M2 正转接触器	Y5
SB11	M1 起动控制按钮	X24	KM7	M2 反转接触器	Y6
SB12	M1 起动控制按钮	X25	KM8	M3 松开接触器	Y7
SQ1	主电动机行程开关	X12	KM9	M3 夹紧接触器	Y10
SQ2	快速移动行程开关	X13	KA	中间继电器	Y11
SQ3	快速移动行程开关	X14	—	—	—



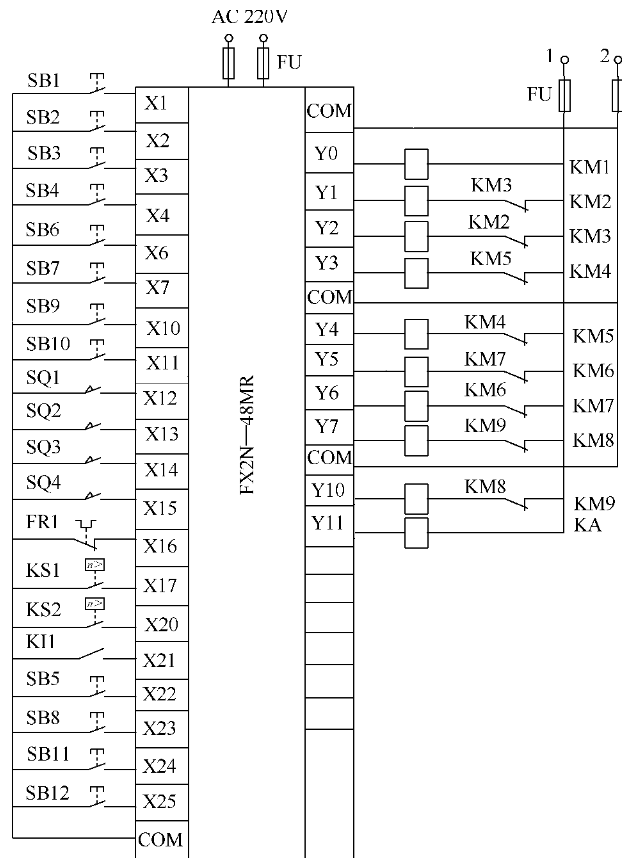
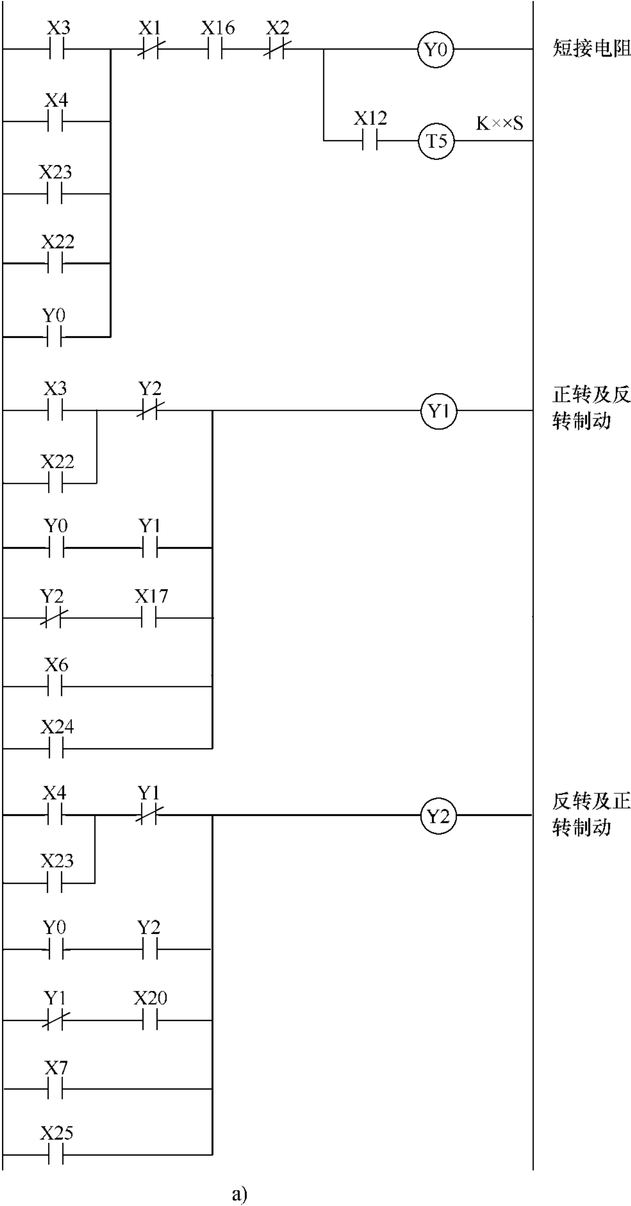


图 4-8　PLC 改造 T611H 电气控制图

4.6.2 T611H 程序设计与说明

根据 T611H 控制要求和控制逻辑关系设计得到 PLC 控制梯形图，如图 4-9 所示。



a)

图 4-9 PLC 控制 T611H 的梯形图

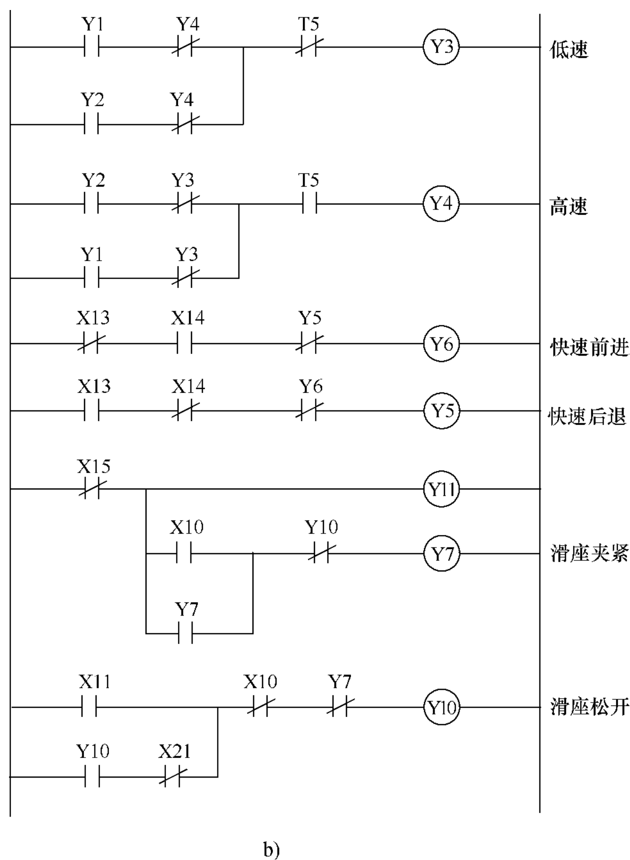


图 4-9　PLC 控制 T611H 的梯形图(续)

(1) 点动调整

需要正转点动调整时,按下按钮 SB6 或 SB11,输入继电器 X6 或 X24 为 ON,使输出继电器 Y1 线圈逻辑回路导通,Y1 为 ON,驱动接触器 KM2 得电,主电动机正转电路接通,电动机转动。由于输出继电器 Y0 此时为 OFF,Y1 回路不能自锁,所以电动机只能作反转点动。

同理,当按下按钮 SB7 或 SB12, 则对应的输入继电器 X7 或 X25 为 ON,使输出继电器 Y2 线圈逻辑回路导通,驱动接触器 KM3 线圈得电,主电动机反转电路接通,电动机转动, Y2 回路不能自锁,所以电动机只能作反转点动。

(2) 正、反转起动控制

按下正转起动按钮 SB3 或 SB5 时,X3 或 X22 为 ON,输出继电器 Y0 和 Y1 同时得电并自锁,输出继电器 Y0 驱动负载接触器 KM1 线圈得电,主电路中的限流电阻 R 被短接,同时使输出继电器线圈 Y1 回路也能够自锁,Y1 驱动负载接触器

KM1线圈得电，此时主电路闭合，电动机正转起动。按下反转起动按钮SB7或SB12时，X7或X23为ON，输出继电器Y0和Y2同时得电并自锁，输出继电器Y0驱动负载接触器KM1线圈得电，主电路中的限流电阻R被短接，同时使输出继电器线圈Y2回路也能够自锁，Y2驱动负载接触器KM2线圈得电，Y1的常开触点为ON，也使输出继电器Y3逻辑回路接通，交流接触器KM4线圈得电，KM4得电后，其主触点闭合，电动机M1作低速正向直接起动。

如果需要电动机作高速转动，将操作手柄转换到高速状态，压下行程开关SQ1，行程开关SQ1动合触头闭合，输入继电器X12为ON，从而使定时器T5逻辑回路闭合。T5线圈得电，延时一定时间后，T5的延时动断触头（常闭触头）为OFF，切断了输出继电器Y3的逻辑回路，接触器KM4线圈断开；同时，定时器T5的动合触头闭合（常开），接通了输出继电器Y4的逻辑回路，使得交流接触器KM5线圈得电，主电动机M1从低速运转转变为高速运转。

（3）制动停止

当电动机在正转、主轴电动机正向旋转速度达到120 r/min时，则速度继电器的正转触点KS2闭合，X20为ON，为主轴电动机正向旋转反向制动做好准备。当按下停止按钮SB1或SB2后，输入继电器X1或X2为ON，取反后为OFF，使输出继电器Y0、Y1、Y2线圈为OFF；当放开按钮SB1或SB2后，X0或X1为OFF，取反后为ON，由于Y1为OFF，取反后为ON，所以输出继电器Y2得电为ON，KM3得电，主电路反接，产生制动力矩，电动机转速降低，当降低到一定速度后，KS2触点断开，Y2也变为OFF，接触器KM3断电，从而达到制动控制的目的。

当电动机在反转、主轴电动机正向旋转速度达到120 r/min时，则速度继电器的正转触点KS1闭合，X17为ON，为主轴电动机反向旋转正向制动做好准备。当按下停止按钮SB1或SB2后，输入继电器X1或X2为ON，取反后为OFF，使输出继电器Y0、Y1、Y2线圈为OFF；当放开按钮SB1或SB2后，X1或X2为OFF，取反后为ON，由于Y2为OFF ，取反后为ON，所以输出继电器Y1得电为ON，KM2得电，主电路反接，产生制动力矩，电动机转速降低，当降低到一定速度后，KS1触点断开，Y1也变为OFF，接触器KM2断电，从而达到制动控制的目的。

（4）快速运动控制

按下快速运动按钮，使行程开关SQ2闭合，输入继电器X13得电，驱动输出继电器Y5线圈得电，负载接触器KM6得电，接通快进电动机主电路（正转）。同理，按下快速运动按钮，使行程开关SQ3闭合，输入继电器X14得电，驱动输出继电器Y6线圈得电，负载接触器KM7得电，接通快进电动机主电路（反转）。

（5）滑座的夹紧、松开电动机控制

夹紧时，按下按钮SB10，X11为ON，使输出继电器Y10闭合，驱动负载接触器KM9得电并自锁，夹紧电动机M3向夹紧方向转动，按下限位开关SQ4，X15为

ON,使输出继电器 Y11 得电,从而驱动中间继电器 KA 通电吸合。随着 M3 的转动,夹紧力不断增加,电动机的电流也随之加大。与滑座夹紧时,流经电流继电器 KI1 的电流值恰好达到了它的整定值,KI1 动作,其常闭触点断开,X21 为 OFF,取反为 ON,使输出继电器 Y10 断开,接触器 KM9 断电释放,电动机 M3 停止,夹紧终止。

滑座夹紧时,中间继电器 KA 吸合,其常闭触点断开,信号灯 HL2 熄灭,此时表明滑座在夹紧位置,不能快速移动。

当松开滑座时,按下按钮 SB9,X10 为 ON,使输出继电器 Y7 闭合,驱动接触器 KM8 得电并自锁,夹紧电动机 M3 向松开方向转动。当滑座完全松开时,使限位开关 SQ4 动作,X15 为 OFF,切断了输出继电器 Y7、Y11 的供电回路,从而 KA、KM8 断电释放,电动机 M3 断电停止。KA 常闭触点闭合,信号灯 HL2 变亮,表明滑座完全松开。

第5章　铣　　床

5.1　X62W电气控制解析

5.1.1　X62W的工艺特点与控制要求

铣削是一种高效率的加工方式。铣床的种类很多，有立铣、卧铣、龙门铣和仿形铣等，它们的加工性能及使用范围各不相同。X62W是卧式万能铣床。卧式万能铣削可以用于加工平面、斜面和沟槽等，装上分度头后还可以铣削直齿齿轮和螺旋面，装上圆工作台还可以铣切凸轮和弧形槽等，是一种常用的通用机床。

一般中小型卧式铣床都采用三相异步电动机拖动。铣床主轴的旋转运动和进给运动都分别由单独的电动机拖动。铣床的主轴旋转运动称为主运动，它有顺铣和逆铣两种方式，所以要求主轴有两个旋转方向。为了对刀和提供生产效率，要求主轴能迅速停止，所以电气线路要有制动措施。铣床的进给运动有六个方向，即工作台前后（横向）运动、左右（纵向）运动和上下（垂直）运动。六个方向还能实现空行程的快速移动。

根据加工工艺，卧式铣床应具有如下电气控制要求：

1）为防止刀具和机床的损坏，要求只有主轴旋转后才有进给和进给方向的快速移动。

2）为降低工件表面粗糙度值，只有进给停止后主轴才能停止或同时停止，X62W机床在电气上采用了主轴和进给同时停止的方式。但是由于主轴运动的惯性很大，实际上就保证了进给运动先停止，主轴运动后停止的要求。

3）六个方向的进给运动同时只产生一种运动，该机床采用了机械手柄和行程开关相配合的方法来实现六个方向进给的互锁。

4）主轴运动和进给运动采用变速孔盘来进行速度选择，为保证变速齿轮进入良好啮合状态，两种运动都要求变速后作瞬时点动。

5）当主电动机或冷却泵电动机过载时，进给运动必须立即停止，以免损坏刀具和机床。

6）从安全和操作方便考虑，换刀时主轴必须处于制动状态。

5.1.2　X62W电路控制分析说明

X62W的电气控制原理图如图5-1所示，电气元件见表5-1。

隔离开关	主电动机	冷却泵电动机	进给电动机	控制变压器	主电动机控制	快速移动控制	工作台运动控制	主轴制动	电磁离合器	照明

图 5-1 X62W 的电气控制原理图

表 5-1 X62W 电气元件表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	主电动机	YC2	进给电磁离合器
M2	进给电动机	YC1	快速电磁离合器
M3	冷却泵电动机	SQ6	进给变速瞬时点动开关
KM1	主电动机起动接触器	SQ7	主轴变速瞬时点动开关
KM2、KM3	进给电动机控制接触器	SA-1	圆形工作台转换开关
KM4	快速移动用接触器	SA-2	主轴上刀制动开关
SQ1、SQ2	工作台向左、右进给行程开关	SQ3、SQ4	工作台前后、上下进给行程开关
SB1、SB2	主轴停止按钮	SA4	照明灯转换开关
SB3、SB4	主轴起动按钮	SA5	主轴换向转换开关
SB5、SB6	工作台快速按钮	TC	控制变压器
FR1～FR3	热继电器	VC	整流器
FU1～FU6	熔断器	YB	主轴电磁制动器
SA3	冷却泵转换开关	—	—

1. X62W 卧式万能升降台铣床主电路分析

主电路共有三台电动机，M1 为主电动机，其正、反转通过转换开关 SA5 手动切换，交流接触器 KM1 的主触点只控制电源的接入和切除。由于 SA5 在切换时 KM1 主触点没有闭合，所以不会直接切断或者接通电流。由于一批工件在大多数情况下只用一种铣削方式，并不需要经常改变电动机转向，即本批次时选择顺铣还是逆铣，开始工作前就已经选定，在加工过程中是不改变的，因此用电源相序转换开关实现主电动机的正、反转控制，简化了控制电路。

M2 为进给电动机，由于它在工作过程中需要频繁变换转动方向，因而仍然用正、反转接触器 KM2、KM3 主触点构成正、反转接线电路。

M3 为冷却泵电动机，铣削加工时，根据不同的工件材料，也为了延长刀具的使用寿命和提高加工质量，需要用切削液对工件和刀具进行冷却润滑。因此主电路中采用转换开关 SA3 直接控制冷却泵电动机的起动和停止。

同样，为了保证主电路的正常运行，分别由熔断器 FU1、FU2、FU3 对电动机 M1、M2、M3 实现短路保护，由热继电器 FR1、FR2、FR3 对 M1、M2、M3 进行过载保护。

2. 主电动机的控制线路分析

(1) 主电动机的起动控制

主电动机起动前,应首先选择好主轴的转速,需要根据所选择的铣削方式,由转换开关 SA5 选定电动机的转向,并将控制电路中的转换开关 SA2 扳到主电动机正常工作的位置(非制动状态)。按下起动按钮 SB3 或按钮 SB4(多点起动),接触器 KM1 得电吸合,KM1 的主触点闭合,接通了电动机的定子绕组,主电动机起动。KM1 的辅助动合触点的闭合将线圈自锁,辅助动合触点的闭合为工作台进给线路提供了电源。

(2) 主电动机的制动

为了使主轴能准确的停车,减少电能的损耗,主轴制动采用了电磁离合器的制动方式。电磁离合器的直流由整流变压器 TC 的二次侧经桥式整流获得。当主轴制动停车时,按下 SB1(机床正面的床鞍处)或 SB2(机床侧面),这时接触器 KM1 线圈断电,M1 的定子绕组脱离电源,离合器 YB 线圈通电,主轴制动停车。

(3) 主轴变速时的瞬时点动控制

铣床主轴的变速由机械系统来完成。在变速过程中,当选定啮合的齿轮正常啮合时,要求电动机能够点动至合适的位置。变速时,首先将变速手柄拉出,啮合好的齿轮脱离,然后转动蘑菇形变速手轮,当选好合适的转速后,将变速手柄复位,使改变传动比的齿轮重新啮合。由于两啮合齿轮的齿与齿之间的位置没有错开,因而常常造成啮合困难。当齿轮没有进入正常啮合状态时,则需要主轴有瞬时点动的功能,以调整两个齿轮的相对位置,使齿轮进入正常的啮合。实现瞬时点动是由复位手柄与行程开关 SQ7 共同控制的。在手柄复位的过程中,压动行程开关 SQ7,接触器 KM1 线圈瞬时接通,主电动机作瞬时点动,以达到齿轮的良好啮合。当手柄复位后,SQ7 恢复到常态,断开了主轴瞬时点动线路。在手柄复位时要迅速、连续,以免电动机的转速升得很高,在齿轮没有啮合好时可能使齿轮打牙。当瞬时点动没有实现良好啮合时,可以重复进行瞬时点动动作。

(4) 主轴换刀制动控制

为了减小负载波动对铣刀转速的影响,主轴上安装有飞轮,使得转动惯量很大。为了提高工作效率,要求主电动机停车时须有制动控制,该控制电路采用电磁制动器 YB 对主轴进行停车制动。在停车时,按下按钮 SB1 或 SB2,其动断触点(常闭触点)断开,使得接触器 KM1 线圈断电,KM1 触点断开,切断电动机电流,同时常开触点闭合,接通电磁制动器 YB 的线圈电路,使制动器中的闸瓦迅速抱住闸轮,主轴电动机立即停止运转。主轴停车后,才可以松开按钮 SB1 或 SB2。在主轴上刀或换刀时,主轴的意外转动都将造成人身事故。因此在上、换刀时,应使主轴处于制动状态。此时,可以旋转开关 SA2 由工作位置扳到制动位置,切断了接

触器 KM1 线圈电路，使主电动机不能起动，同时 SA2 切断了电磁制动器 YB 的线圈电路，使得主轴处于制动状态不能转动，保证换刀工作的顺利进行。当上、换刀结束后，将 SA2 扳到闭合位置，为主轴起动做好准备。

3. 进给运动的控制

(1) 顺序控制

为防止刀具和机床的损坏，机床开机要求只有主轴电动机旋转后，才允许有进给运动。通过在进给接触器回路中串入接触器 KM1 的常开触点，保证主轴起动后方可起动进给电动机。

(2) 工作台运动控制

工作台的左、右、上、下、前、后运动是通过操纵手柄和机械联动机构控制相应的行程开关使进给电动机正转或反转来实现的。行程开关 SQ1 和 SQ2 控制工作台的向右和向左运动，SQ3 和 SQ4 控制工作台的向前、向下和向后、向上运动。一般卧式万能铣床上有两个操作手柄，一个为纵向(左右)操作手柄，有左、中、右三个位置，搬动时分别压动 SQ1 和 SQ2；另一个为横向(前、后)和垂直(上、下)十字负荷操作手柄，该手柄有五个位置，即上、下、前、后和中间位置，扳到相应位置时分别压动行程开关 SQ3 和 SQ4。

1) 工作台的左、右(纵向)运动：工作台的左、右运动由纵向手柄操纵，当手柄扳向右侧时，手柄通过联动机构接通了纵向进给离合器，同时压下了行程开关 SQ1 的动合触点，使进给电动机的正转接触器 KM2 线圈得电，进给电动机正转，带动工作台向右运动。当纵向进给手柄扳向左侧时，行程开关 SQ2 被压下，行程开关 SQ1 复位，进给电动机反转接触器 KM3 线圈得电，进给电动机反转，带动工作台向左运动。SA1 为圆形工作台转换开关，这时的 SA1 处于断开位置。

2) 工作台的上、下(垂直)运动和前、后(横向)运动：工作台的上、下和前、后运动由垂直和横向进给手柄操纵。该手柄向上或向下时，接通了垂直进给离合器；当手柄向前或向后时，接通了横向进给离合器；手柄在中间位置时，横向和垂直进给离合器均不接通。

在手柄扳到向下或向前位置时，手柄通过机械联动机构使 SQ3 被压下，SQ3 的动合触点接通，动断触点断开。这时进给电动机正转接触器 KM2 线圈接通得电，电动机正转，带动工作台作向下或向前运动。

当手柄扳到向上或向后位置时，SQ4 被压下，SQ3 复位，SQ4 的常开触点接通，进给电动机反转接触器 KM3 线圈接通得电，电动机反转带动工作台向上或向右运动。手柄扳到向下或向前时压动行程开关 SQ3 与扳到向上或向后时压动行程开关 SQ4 均是通过机械联动机构实现的。

(3) 进给变速时的瞬时动点

进给变速必须在进给操纵手柄放在零位时进行。和主轴变速一样,进给变速时,为使齿轮进入良好的啮合状态,必须做变速后的瞬时点动。在进给变速时,首先将进给变速的蘑菇形手柄拉出,当选好合适的进给速度后,手柄继续拉出,行程开关 SQ6 被压动,SQ6 的常开触点接通,常闭触点断开,进给电动机正转接触器 KM2 线圈得电,进给电动机瞬时正转;在手柄推回原位时 SQ6 复位,进给电动机停止。一次瞬时点动齿轮仍未进入啮合状态,可以再重复进行一次,直到进入良好的啮合状态为止。

(4) 进给方向的快速移动

为了缩短辅助时间,提高生产效率,要求水平工作台不作铣削加工时应能快速移动。水平工作台在进给方向选定后,是快速移动还是进给运动,取决于电磁离合器 YC1、YC2 的得电与断电。六个方向的进给快速移动是通过相应的手柄和快速按钮配合实现的。当在某一方向有进给运动后,按下快速移动按钮 SB5 或 SB6,快速移动接触器 KM4 动作,接触器 KM4 的动合触点闭合,接通快速离合器 YC1,工作台在原方向上作快速移动,松开按钮快速移动停止。水平工作台以原来的方向继续工作进给。

工作台在进给方向上的运动必须具有可靠的极限位置保护,否则将造成设备或人身事故。X62W 的极限位置保护采用的是机械和电气相配合的方式。由挡块确定各进给方向上的极限位置,当达到极限位置时,挡块将操纵手柄自动地挡回到零位。电气上就使在相应进给方向上的行程开关复位,切断了进给电动机的控制电路,进给运动停止,保证了工作台在规定范围内运动。

4. 圆形工作台的控制

为了扩大机床的加工能力,可在机床工作台上安装附件圆形工作台,这样就可以进行圆弧或凸轮的铣削加工。圆形工作台可以手动也可以自动,当需要用电气方法自动控制时,应首先将圆形工作台开关 SA1 扳到接通位置。按下起动按钮 SB1 或 SB2,主轴电动机起动。接着进给电动机 M2 的正转接触器 KM2 线圈得电,电动机 M2 起动,带动圆形工作台作旋转运动。

圆形工作台的运动必须和六个方向的进给运动有可靠的互锁,否则会造成刀具或机床的损坏。为避免这种事故发生,从电气上保证了只有纵向、横向及垂直手柄放在零位时才可以进行圆形工作台的旋转运动。如果某一手柄不在零位,行程开关 SQ1~SQ4 就有一个被压下,它所对应的动断触点断开,破坏了 KM2 线圈的通电回路。所以在圆形工作台工作时,扳动任何一个进给手柄,KM2 线圈将断电,电动机 M2 自动停止。

5.2 X62W 电气控制 PLC 改造

5.2.1 X62W 改造说明与电路设计

根据 X62W 卧式万能铣床的工作过程和已有继电器控制的电气参数，选择 FX2N 可编程序控制器进行改造。改造中，主电路不变，将原来的低压电气元件经过分析处理，把触点、开关与 PLC 的输入继电器端口连接，负载、线圈与输出继电器端口相连。其中，接触器线圈负载电源为交流 110V，电磁铁线圈电源选择 24V 直流，沿用原来变压器的输出电源。新增中间继电器 KA1、KA2、KA3 来分别控制电磁制动器 YB、电磁离合器 YC1 和电磁离合器 YC2，避免这些电感元件与 PLC 输出端口直接连接。新增中间继电器的电源类型与其他接触器一致。

结合输入、输出总点数，选用 FX2N—32MR 能够满足要求。改造后的电路图如图 5-2 所示，逻辑元件的分配表见表 5-2。

表 5-2 PLC 逻辑元件分配表

电气元件	逻辑元件	用途	电气元件	逻辑元件	用途
SB1	X0	主轴起动按钮	FR1	X15	主轴电动机热继电器
SB2	X1	主轴起动按钮	FR2	X15	进给电动机热继电器
SB3	X2	主轴停止按钮	FR3	X16	冷却泵电动机热继电器
SB4	X3	主轴停止按钮	SA1	X17	圆形工作台转换开关
SB5	X4	工作台快速按钮	SA2	X20	主轴上刀制动开关
SB6	X5	工作台快速按钮	KM1	Y0	主电动机起动接触器
SQ1	X6	工作台向右进给行程开关	KM2	Y1	正向进给电动机起动接触器
SQ2	X7	工作台向左进给行程开关	KM3	Y2	反向进给电动机起动接触器
SQ3	X10	工作台向前、向下进给行程开关	KM4	Y3	快速接触器
SQ4	X11	工作台向后、向上进给行程开关	YB	Y4	主轴制动电磁离合器
SQ6	X13	进给变速瞬时点动开关	YC1	Y5	进给电磁离合器
SQ7	X14	主轴变速瞬时点动开关	YC2	Y6	快速电磁离合器
—	M0	工作台变速点动用辅助继电器	—	M1	圆形工作台控制辅助继电器

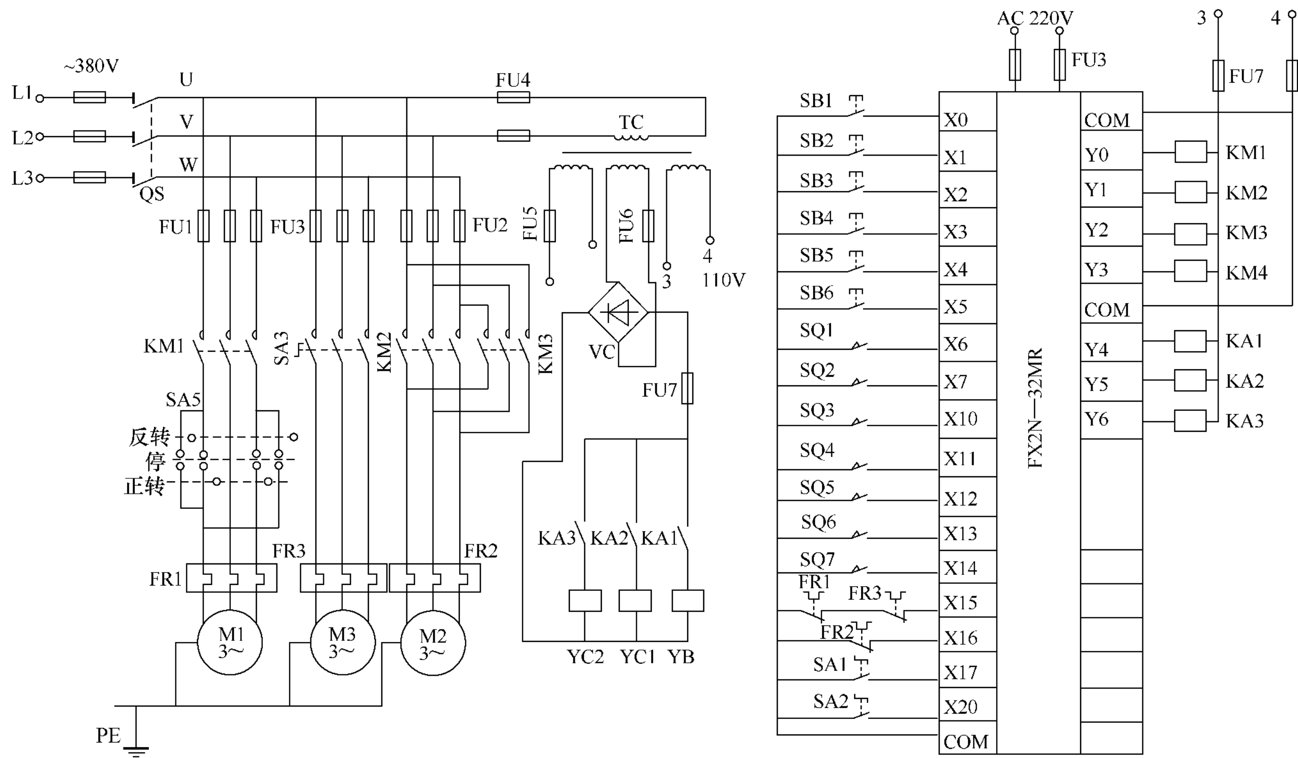


图 5-2　PLC 改造 X62W 电气图

5.2.2 X62W程序设计与说明

（1）主电动机控制

当主轴换刀制动开关SA2闭合，则输入继电器X20为ON。按下多点控制按钮SB3或SB4，则输入继电器X2或X3变为ON，使输出继电器Y0线圈逻辑回路导通自锁，Y0为ON，驱动与端口Y0相连接的接触器KM1线圈电路导通，KM1线圈得电，其主触点闭合，使电动机M1得电转动。当按下停止按钮SB1或SB2时，输入继电器X0或X1得电为ON，经过取反后为OFF，切断输出继电器Y0线圈逻辑回路，Y0断电为OFF，KM1线圈回路断开，主触点断开，电动机断电。同时X0或X1接通了输出继电器Y4的逻辑回路，Y4驱动负载中间继电器KA1线圈得电，常开触点闭合，接通电磁制动器YB，实现制动控制。

在换刀时需要主轴停止，则将转换开关SA2断开，X20为OFF，它串接在Y0逻辑回路中，输出继电器Y0无法得电，主电动机不能起动，能够安全的进行换刀。

在主轴变速时，通过变速盘压动行程开关SQ7使输入继电器X14闭合，输出继电器Y0线圈瞬时接通，驱动接触器KM1得电，电动机作点动旋转(X14逻辑回路不构成自锁)，以调整两个变速齿轮之间的相对角位置，当位置正确后推入变速盘，齿轮啮合，SQ7断开，X14为OFF，Y0逻辑回路断电，主电动机停止转动。

（2）快速移动控制

当按下按钮SB5或SB6时，输入继电器X4或X5为ON，输出继电器Y3逻辑回路导通，Y3为ON，其常开触点驱动输出继电器Y5逻辑回路导通，Y6逻辑回路断开，Y5为ON，Y6为OFF，驱动中间继电器KA2线圈得电，其常闭触点闭合，接通对应的电磁离合器YC1电路，Y6驱动对应的中间继电器KA3线圈电路断开，其常开触点不能闭合，电磁离合器YC2电路断开，使由进给电动机提供的运动经过快速传动链到达工作台，带动工作台在原来的进给运动方向上作快速运动。由于Y3回路没有自锁，所以快速运动也是一个点动控制。当松开快速按钮SB5或SB6后，Y3为OFF，Y5断电为OFF，Y6通电为ON，中间继电器KA2断电，KA3得电，对应的离合器YC1断电，YC2得电。接通，正常进给传动链；断开，快速进给传动链。进给电动机带动工作台作正常进给运动。

（3）工作台进给

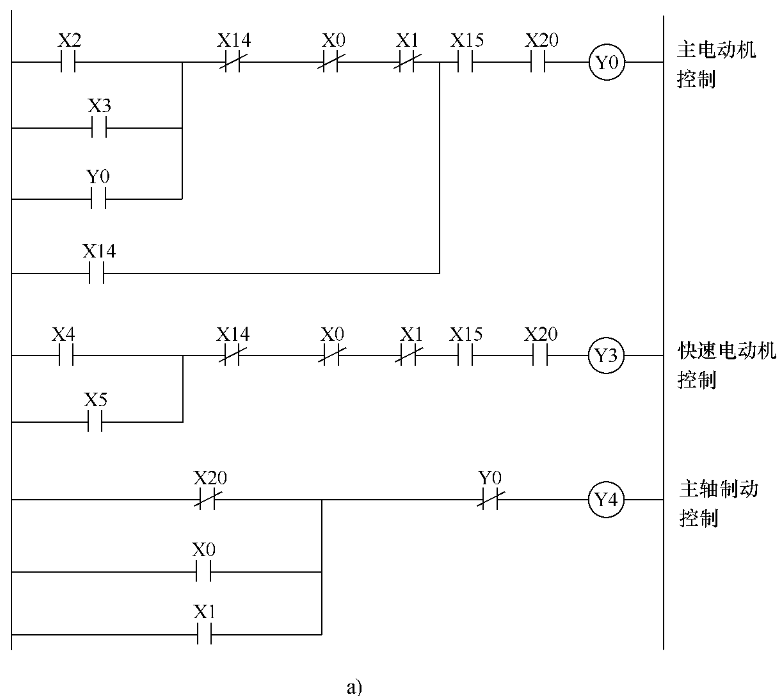
由于逻辑回路比较复杂，将点动变速过程用辅助继电器M0代替，将圆形工作台的工作状态用M1代替，并联在正向进给逻辑回路中。

当扳动手柄压下行程开关SQ1或SQ3时，驱动输入继电器X6或X10得电为ON，在主轴已经转动的情况下，输出继电器Y1线圈回路导通，Y1为ON，驱动接触器KM2线圈回路闭合得电，主触点闭合，接通电动机M2主电路，电动机正转，通过机械传动链带动工作台在相应方向运动。

当扳动手柄压下行程开关 SQ2 或 SQ4 时，一方面接通了对应方向的传动链，另一方面，驱动输入继电器 X7 或 X11 得电为 ON，在主轴已经转动的情况下，输出继电器 Y2 线圈回路导通得电，驱动接触器 KM3 线圈回路闭合得电，主触点闭合，接通电动机 M2 主电路，电动机反转，通过机械传动链带动工作台在相反的方向运动。

整合点动过程中的逻辑关系，得到的 M0 逻辑回路，如果需要进行变速点动，则通过变速盘压下行程开关 SQ6，输入继电器 X13 得电。由于操作手柄必须都停留在中间位置，行程开关 SQ1、SQ2、SQ3、SQ4 触点断开，输入继电器 X6、X7、X10、X11 都为 OFF，取反后为 ON，所以辅助继电器 M0 逻辑回路闭合，M0 为 ON，使输出继电器 Y1 逻辑回路导通，驱动接触器 KM2 线圈得电，电动机 M2 点动正转，以便进给变速齿轮能够正常进入啮合。

整合圆形工作台的逻辑关系得到圆形工作台的控制逻辑，用 M1 表示。当需要圆形工作台工作时，转换开关 SA1 置于接通位置，输入继电器 X17 得电为 ON，同样进给操作手柄在中间位置，行程开关 SQ1～SQ4 断开，则辅助继电器 M1 得电，满足圆形工作台工作条件，用 M1 驱动输出继电器 Y1 线圈逻辑回路导通，负载接触器 KM2 线圈得电，进给电动机 M2 旋转，带动工作台转动。PLC 改造 X62W 控制梯形图如图 5-3 所示。



a)

图 5-3　PLC 改造 X62W 控制梯形图

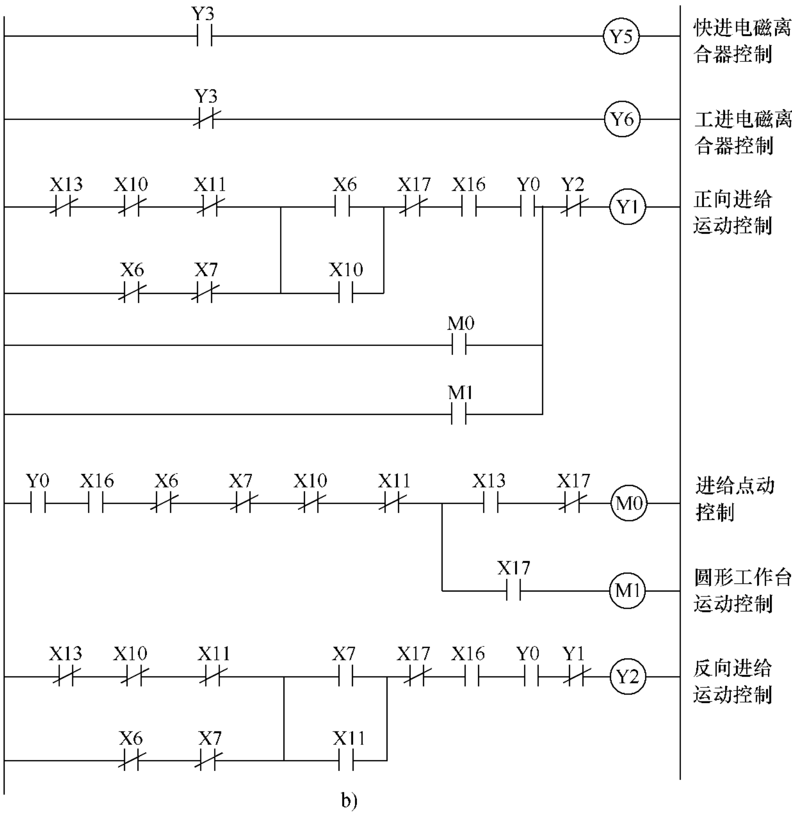


图 5-3　PLC 改造 X62W 控制梯形图(续)

第 6 章　齿轮加工机床

6.1　YM3150E 滚齿机电气控制解析

6.1.1　YM3150E 的工艺特点与控制要求

1. 滚齿机运动分析

滚齿加工是由一对交错轴斜齿轮啮合传动原理演变而来的。从机床切削运动学分析，滚齿加工的原理是两个齿轮啮合展成法理论，即两个齿轮（一个是滚齿刀，另一个是被加工齿轮），齿的轴线上任何垂直剖面一般由同一基圆的渐开线构成。滚刀与被加工齿轮之间的啮合是无间隙的，即要求滚刀和被加工齿轮之间严格保持一对渐开线齿轮的啮合关系。滚刀的转速与被加工齿轮的转速之比等于它们齿数的反比，当加工时，滚齿刀在围绕其自身轴线回转的同时，伴随工件轴向进给。这样滚齿刀从被加工齿轮上切去一定量的金属，并在无间隙滚切运动中在被加工齿轮上切出齿形，它的形状就是滚齿刀切削刃连续位置的包络线。通过对滚齿机工作原理的分析和对典型立式滚齿机传动部分的考察，滚齿机的工作原理如图 6-1 所示。以工件的旋转轴为轴向参照，x 为径向进给运动，y 为切向进给运动，z 为轴向进给运动。

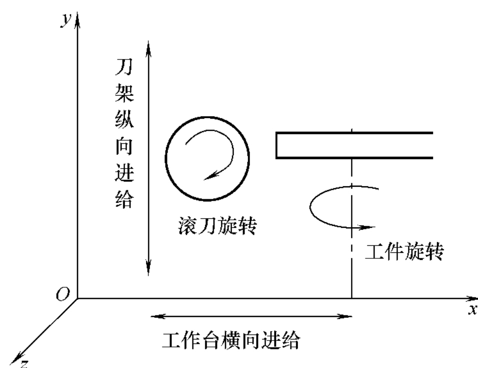


图 6-1　滚齿机工作原理图

在加工不同类型的齿轮时，其传动链有不同的要求，归纳起来，滚齿机上主要包括的传动链有：

1）直齿加工时，电动机带动滚刀旋转的运动链（外联系传动链）、滚刀旋转与工作台回转之间的内联系传动链（内联系传动链）、滚刀在刀架的带动下沿轴向的直线运动（外联系传动链）。

2）斜齿轮加工时，由于斜齿轮与直齿轮的不同之处是齿线为螺旋线，因此，斜齿轮滚切时，除了与滚直齿一样，需要有滚刀旋转与工件旋转之间的展成运动、主运动、轴向进给运动外，为了形成螺旋齿线，在滚刀作轴向进给运动的同时，工件还应作附加旋转运动，而且这两个运动之间必须保持确定的运动关系，即滚刀移动一

个工件螺旋线导程时，工件应该准确地附加转过一圈。

3）蜗轮加工时，用蜗轮滚刀滚切蜗轮，齿廓的形成方法与加工圆柱齿轮是相同的，但齿线是当滚刀切至全齿深时，在展成齿廓的同时形成的。因此，主要运动包括滚切蜗轮的展成运动、主运动以及滚刀切入工件的切入进给运动。对于 YM3150E 滚齿机，其切入运动是径向进给法，即在加工齿轮时，还应该由滚刀或工件沿工件径向作切入进给运动，使滚刀从蜗轮齿顶逐渐切入至全齿深。

2. 控制要求分析

根据 YM3150E 的工艺特点、加工原理和电力拖动情况，分析得出的要求有如下几点：

1）主电动机带动滚刀作旋转运动，构成主运动，并且切削需要刀具能够正、反转。

2）所有的内联系传动链是由齿轮机构来实现的，滚刀旋转、刀架轴向运动、工作台旋转、径向运动等都由一个交流电动机提供动力，不能由多个电动机完成。

3）滚切速度的调节主要由齿轮机构实现。

4）不需要电气制动。

5）滚切过程需要必要的冷却和润滑。

6）为了传动系统能够有充分的润滑，必须在液压泵起动后才能起动其他电动机。

7）由于机床调整的需要，主电动机既能长动，也能点动；轴向快速移动电动机只能点动。

8）轴向运动需要设置极限保护措施。

3. 电气控制特点

YM3150E 滚齿机的控制特点主要体现在以下几个方面：

1）主电动机 M2 带动刀具、刀架、工作台运动，并能实现正、反转。

2）液压系统提供工作台径向进给的动力。

3）切削液由冷却泵电动机 M3 提供。

4）刀架的轴向快速运动由电动机 M4 提供，而加工齿轮时的轴向进给是由主电动机带动。

5）能够监控液压润滑油的多少，当润滑油过少时要提示。

6.1.2　YM3150E 电路控制分析说明

YM3150E 电气原理图如图 6-2 所示，电气元件表见表 6-1。

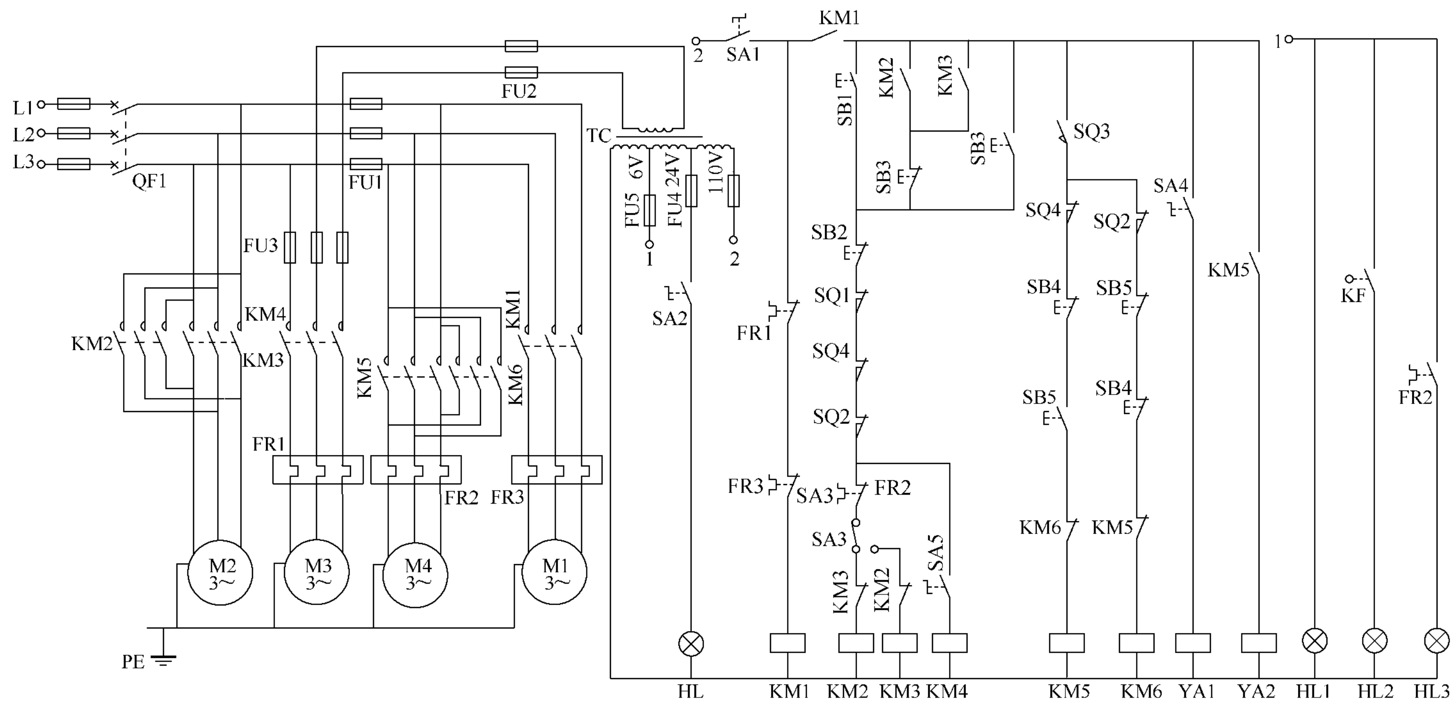


图 6-2　YM3150E 电气原理图

表 6-1 电气元件表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	液压泵电动机	KM2、KM3	主电动机用接触器
M2	主电动机	KM4	冷却泵用接触器
M3	冷却泵电动机	KM5、KM6	轴向电动机用接触器
M4	轴向快速运动电动机	YA1、YA2	平衡液压缸用电磁阀的电磁铁
TC	控制变压器	SQ1～SQ4	行程开关
SA1	总开关	FR1～FR3	热继电器
SA2	照明开关	HL1～HL3	指示灯
SA3	主轴正、反转开关	SB1、SB2、SB3	主电动机起、停按钮
SA4	径向快速开关	SB4、SB5	M4 正、反向点动按钮
SA5	冷却泵开关	HL	照明灯
KM1	液压泵用接触器	KF	浮子继电器

1. 主电路

液压泵电动机 M1 由接触器 KM1 控制，主电动机由接触器 KM2、KM3 控制，并能实现正、反转。冷却泵电动机 M3 由接触器 KM4 控制，轴向快速运动电动机由接触器 KM5、KM6 实现正、反转控制。电动机 M1、M2、M3 都设有过载保护。

2. 控制电路

（1）液压泵控制

总开关 SA1 闭合，为控制电路接通做好准备，同时接通接触器 KM1 线圈电路，KM1 得电；液压泵电动机 M1 主电路闭合工作，为液压系统提供压力油，为传动元件提供润滑油，保证旋转元件在工作之前得到充分的润滑。

（2）主电动机控制

滚齿过程中的主要运动都是由电动机 M2 提供。先将转换开关 SA3 转换到 KM2 线圈电路，此时按下按钮 SB1，接触器 KM2 线圈电路接通，利用其常开触点使 KM2 自锁，主触点闭合，电动机 M2 正转，主电路接通，电动机 M2 通过外联系传动链带动滚刀正转（逆铣），由滚刀轴通过内联系或者外联系传动链带动刀架、工作台运动，当刀架运动到上方或者下方的极限位置时，由行程开关 SQ2 和 SQ4 进行极限位置保护，压下行程开关，接触器 KM2 线圈断电，电动机 M2 停止转动。

当 SA3 转换到 KM3 线圈回路位置，按下按钮 SB1 时，接触器 KM3 将得电并

自锁，电动机 M2 反转，带动刀具作顺铣加工。

当按下按钮 SB3 时，其常开触点闭合，接通接触器 KM2 或 KM3 电路。但由于 SB3 的常闭触点切断了 KM2 或 KM3 线圈的自锁回路，接触器线圈回路不能自锁，电动机 M2 只能点动旋转，为机床点动调整控制状态，有利于调整各个运动部件之间的相对位置。

(3) 冷却泵电动机控制

在主电动机的工作状态，即 KM2 或 KM3 线圈得电的情况下，将转换开关 SA5 置于闭合状态，接触器 KM4 线圈电路闭合，线圈得电，主触点接通电动机 M3 主电路，冷却泵工作，为切削过程提供切削液。

(4) 轴向快速移动点动控制

刀具在加工完毕，轴向返回初始位置或作刀架的轴向调整时，刀架需要作快速移动。为了减少传动元件和缩短辅助时间，利用快速电动机带动刀架作轴向运动。在作快速移动之前，将刀架轴向工作进给的传动链切换到由快速电动机带动的传动链。扳动手柄接通快速运动机械离合器，断开工作进给传动链，压下行程开关 SQ3，然后按下按钮 SB4，接触器 KM6 线圈电路接通，其主触点闭合，快速移动电动机 M4 正转，电动机带动刀架快速从底端向上运动，由于 KM6 线圈回路没有自锁，电动机只能点动工作，松开按钮 SB4，则运动停止。

当按下按钮 SB5 时，接触器 KM5 得电，接通电动机 M4 的反转电路，轴向快速移动电动机 M4 反转，带动刀架作由上向下的快速移动。接触器 KM5 的常开触点闭合，接通电磁阀电磁铁 YA2 电路，平衡液压缸工作，使得快速向下移动平稳。

(5) 径向运动控制

为了能够调整刀具与工件的径向位置和加工蜗轮的需要，工作台能够作径向运动，其运动由液压系统提供动力，当转换开关 SA4 闭合后，电磁铁 YA1 得电，液压缸推动工作台作径向运动。

(6) 其他控制内容

照明电路采用 24V 电源，当将转换开关 SA2 闭合时，照明电路接通，灯 HL 亮。

指示灯电路主要有电源指示灯 HL1、润滑油指示灯 HL2、主电动机过载指示灯 HL3，在合上电源总开关(低压断路器)QF1 时，指示灯 HL1 亮，标志电源接通；当润滑油减少到一定程度时，安装在液压缸中的浮子继电器 KF 触点闭合，指示灯 HL2 亮，提醒操作者及时添加润滑油，以监控润滑油；当主电动机过载时，热继电器 FR2 常开触点闭合，指示灯 HL3 亮，提示操作者系统有故障，主电动机过载。

6.2　YM3150E滚齿机电气控制PLC改造

6.2.1　YM3150E改造说明与电路设计

根据YM3150E的工作过程和已有继电器控制的电气参数，选择FX1N可编程序控制器进行改造。首先考虑保证原有控制功能不变，尽量保留原来的电气元件，不添加新的元件。主电路不变，PLC电源电压为交流220V，接触器线圈负载和电磁铁线圈电源为交流110V。照明电路和指示灯电路逻辑关系简单并独立，不作改造。总计输入点数为16、输出总点数8，选用FX1N—40MR能够满足要求。

改造过程中主要采取的措施：

1）将液压泵电动机的起停条件作为主控条件，只有在液压泵电动机开始工作以后，才能起动其他输出继电器。

2）热继电器直接与输入继电器连接。

3）各个转换开关都只用了两个位置，所以分别占用一个输入端口。

经过改造后的电气图如图6-3所示，逻辑元件的分配见表6-2。

表6-2　PLC逻辑元件分配表

电气元件	逻辑元件	作　　用	电气元件	逻辑元件	作　　用
SB1	X0	主电动机起动按钮	SA5	X14	冷却泵开关
SB2	X1	主电动机停止按钮	FR1	X15	热继电器触点
SB3	X2	点动调整主电动机按钮	FR2	X16	热继电器触点
SB4	X3	轴向快速电动机正向点动按钮	FR3	X17	热继电器触点
SB5	X4	轴向快速电动机反向点动按钮	YA1	Y0	径向移动电磁阀的电磁铁
SQ1	X5	轴向行程开关	YA2	Y1	平衡液压缸电磁阀的电磁铁
SQ2	X6	轴向超行程保护开关	KM1	Y2	液压泵电动机控制用接触器
SQ3	X7	轴向快速移动行程开关	KM2	Y3	主轴正转控制接触器
SQ4	X10	轴向超行程保护开关	KM3	Y4	主轴反转控制接触器
SA1	X11	总开关	KM4	Y5	冷却泵电动机控制接触器
SA3	X12	主轴正、反转开关	KM5	Y6	轴向快移电动机正转用接触器
SA4	X13	径向快速开关	KM6	Y7	轴向快移电动机反转用接触器

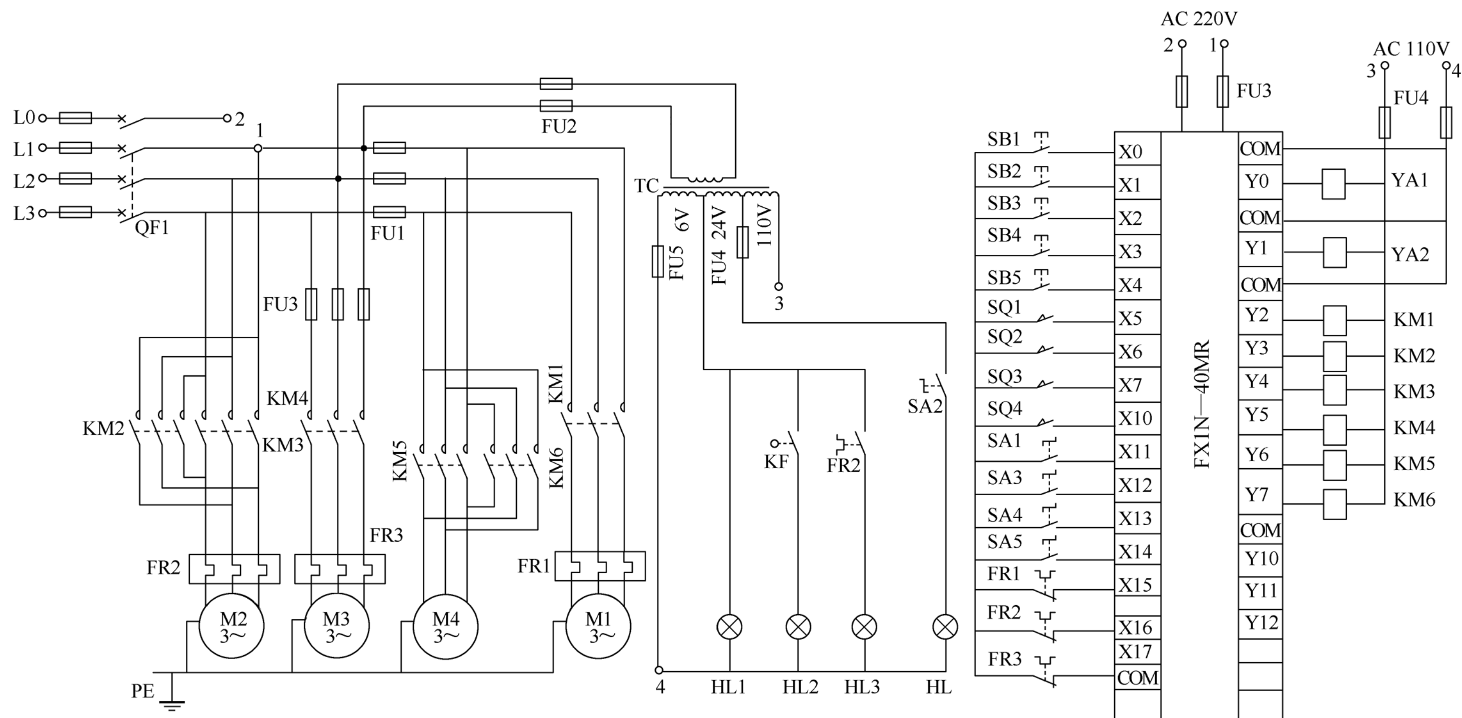


图 6-3 PLC 改造 YM3150E 电气图

6.2.2 YM3150E程序设计与说明

根据控制要求和PLC端口分配情况，设计得到控制梯形图如图6-4所示。

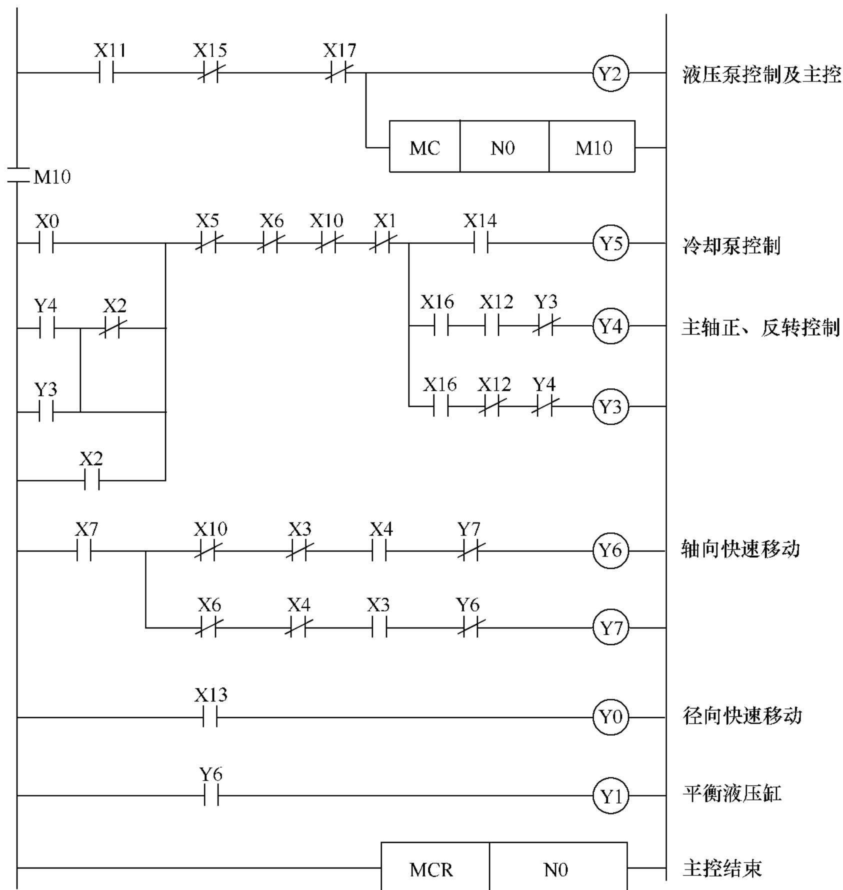


图6-4 PLC改造YM3150E控制梯形图

（1）液压泵控制

总开关SA1闭合，输入继电器X11为ON，由于在电动机无过载的情况下，热继电器FR1和FR2常闭触点闭合，X15和X17为ON，接通输出继电器Y2线圈逻辑回路，使接触器KM1线圈电路导通，KM1主触点闭合，液压泵M1主电路闭合工作，为液压系统提供压力油，为传动元件提供润滑油，保证旋转元件在工作之前得到充分的润滑，同时使主控元件M10为ON，为后续程序控制做好准备。

（2）主电动机控制

在液压泵工作的前提下，按下按钮SB1，输入继电器X0为ON，当转换开关SA3断开，输入继电器X12为OFF，取反后为ON，则输出继电器Y3逻辑回路闭

合,Y3为ON,使接触器KM2线圈电路导通,KM2得电,主触点闭合,电动机M2正转。当转换开关SA3闭合,则X12为ON,输出继电器Y4逻辑回路导通,Y4为ON,使接触器KM3线圈电路接通,KM3线圈得电,主触点闭合,接通M2反转主电路,电动机反转。当M2过载,FR2触点断开,输入继电器X16为OFF,输出继电器Y3、Y4将无法接通,电动机M2停止。此时,Y3、Y4逻辑回路能够自锁,电动机的旋转运动为长动。

当按下按钮SB3,输入继电器X2为ON,取反后X2的常闭触点为OFF,将切断Y3、Y4逻辑回路的自锁环节,无法自锁,这时Y3、Y4只能点动导通,电动机M2只能点动。适用于点动调整机床。

(3)冷却泵控制

在输出继电器Y3或Y4线圈得电并自锁的情况下,将转换开关SA5闭合,则输入继电器X14为ON,接通输出继电器Y5线圈逻辑回路,使接触器KM4线圈电路导通,接触器KM4,主触点闭合,冷却泵主电路接通旋转。

(4)轴向快速移动控制

利用操作手柄切换到轴向快进状态,快移机械离合器闭合,行程开关SQ3被压下,输入继电器X7为ON,为点动快移做好准备。当按下按钮SB4时,输入继电器X3为ON,输出继电器Y7线圈逻辑回路闭合,使接触器KM6线圈电路导通,接触器线圈KM6得电,但不能自锁,接通电动机M4的正转电路,M4正转,通过快移传动链带动刀架快速轴向向上运动。

当按下按钮SB5时,输入继电器X4为ON,输出继电器Y6为ON,接触器KM5得电,电动机M4反转,刀架快速向下。

(5)径向运动

转换开关SA4闭合,输入继电器X13为ON,输出继电器Y0为ON,电磁铁YA1得电,液压缸推动工作台径向移动。

6.3 YB6016半自动花键铣床电气控制解析

6.3.1 YB6016的工艺特点与控制要求

1. YB6016半自动花键轴铣床工艺特点

YB6016半自动花键轴铣床是按滚铣法加工直槽长花键轴的专用机床,也可加工直齿齿轮轴,适用于飞机、汽车、拖拉机及机床和农业机械等行业。加工花键齿数4~36,铣刀转速级数6级,铣刀转速范围50~160r/min,进给量级数12级,进给量范围0.41~2.97mm/r。花键的加工是利用花键滚刀进行加工,工件水平安装,滚刀轴立式安装。加工过程中,滚刀旋转的同时,工件旋转,两者保持一个确定的传动关系,并且在进给机构的带动下,刀架沿轴向进给,逐步把整个轴加工出

来。不同齿数的花键轴加工，需要调整刀具主轴转动与工件转动之间的交换齿轮来确定内联系传动链的关系，刀具转速的确定和进给量的确定则根据刀具材料、工件材料、加工精度要求等因素进行调整。

2. 电力拖动与控制要求

YB6016半自动花键铣床上配置四台三相笼型异步电动机，分别为液压泵电动机M1，驱动冷却泵供液的电动机M2，提供工作进给动力和主运动的主电动机M3，驱动刀架快速移动的电动机M4。其中，主运动电动机M3需要进行顺铣和逆铣，即要求正转和反转；快速移动电动机M4需要前进和后退，也需要正转和反转，但控制各不相同，对于电动机M3，在确定好顺铣或逆铣后，整个加工过程都不变，所以考虑采用组合开关来对调电动机任意两相的电源实现正、反转。而快进或快退往往要频繁交替进行，所以用接触器来实现两相对调。

控制要求主要包括以下几点：

1）滚削加工过程需要切削液冷却。

2）YB6016半自动花键铣床的主电动机M3在电气上需要实现顺铣、逆铣和停止，还需要正、反转控制。

3）快速移动电动机M4用于刀架快速移动、前进或后退，并且与正常的切削进给之间不要发生冲突。

4）能够完成半自动循环过程。在工件安装好后，能够实现从左向右或者从右向左的自动循环加工。

5）液压系统工作以后才能实现自动循环。

6.3.2 YB6016电路控制分析说明

YB6016半自动花键铣床的电气控制系统电路图如图6-5所示，电气元件见表6-3。下面分析其工作过程。

表6-3 YB6016半自动花键铣床电气元件

电气元件	名称与作用	电气元件	名称与作用
M1	液压泵电动机	SB1～SB5	按钮
M2	冷却泵电动机	SB6、SB7	按钮
M3	主电动机	FR1～FR3	热继电器
M4	快速移动电动机	FU1～FU7	熔断器
QS1	组合开关、电源引入	H	工作灯
QS2	正、反转切换用组合开关	TC	变压器
KM1～KM5	接触器	SQ1、SQ2	行程开关
KA1	中间继电器	SQ3、SQ4	行程开关

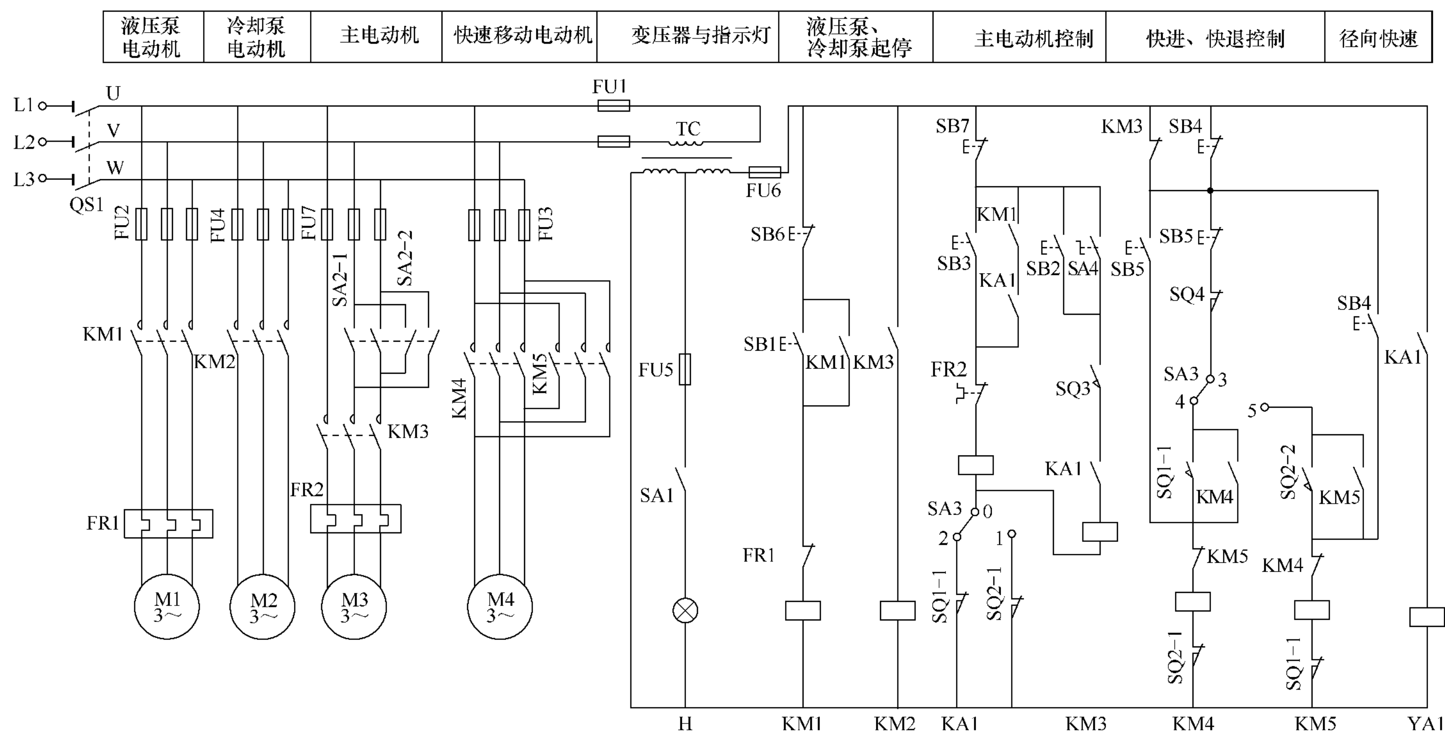


图 6-5　YB6016 半自动花键铣床的电气控制系统电路图

1. 主电路

铣床的电源采用三相 380V 交流电源，由组合开关 QS1 引入，M1、M3、M4 分别采用热继电器 FR1、FR2、FR3 进行过载保护。

组合开关 SA2 控制主电动机 M2 的正、反转，组合开关 SA2 有顺铣、停、逆铣的三个转换位置。

接触器 KM4、KM5 控制快进电动机 M3 的正、反转，实现快进和快退。

只有在主轴电动机 M3 起动后，中间继电器 KA1 得电，冷却泵电动机 M2 才能起动，M2 由接触器 KM2 控制。

为保证主电路的正常运行，分别有熔断器 FU1、FU2、FU3 对电动机 M1、M2、M3 实现短路保护。

2. 控制电路

(1) 液压泵的起停控制

按下按钮 SB1，则接触器 KM1 线圈得电并自锁，KM1 主触点闭合，接通液压泵电动机 M1。按下按钮 SB6，则断开液压泵电动机 M1 主电路。

(2) 冷却泵电动机的控制

冷却泵电动机 M2 的起动是在主电动机起动后才能起动，是典型的顺序起动。主电动机起动，接触器 KM3 得电，其常开辅助触点闭合，接通接触器 KM2 线圈电路，KM2 主触点闭合，冷却泵起动；反之，当主电动机停止，KM3 断电，则 KM2 也随之断电，冷却泵电动机 M2 停止。

(3) 主电动机的控制电路

铣床主轴的正、反转是通过主电动机的正、反转来实现的。在切削加工前，先确定采用顺铣还是逆铣，从而确定刀具的转向，将组合开关 SA2 转到相应位置，并且根据零件轴的装夹方式不同，机床可以从左向右走刀，也可以从右向左走刀，这由转换开关 SA3 来完成。所以在加工之前，需要将转换开关 SA3 转换到相应位置。

在液压泵已经起动的情况下，KM1 线圈得电，KM1 的辅助常开触点闭合，然后按下起动按钮 SB3，中间继电器 KA1 线圈得电，KA1 动合触点闭合，KA1 接通电磁铁 YA1，刀架实现快速径向运动，到达加工位置，压下行程开关；当转换开关 SA4 转换到自动循环状态下，则接触器 KM3 得电并自锁，电动机 M3 按照一定的方向带动主轴转动，进行切削加工，并通过内联系传动装置带动刀架作进给运动。当花键轴加工完毕，压下终点位置的行程开关(SQ1 或 SQ2)，KA1 线圈断电，KA1 的常开触点断开，KM3 断电，加工结束。

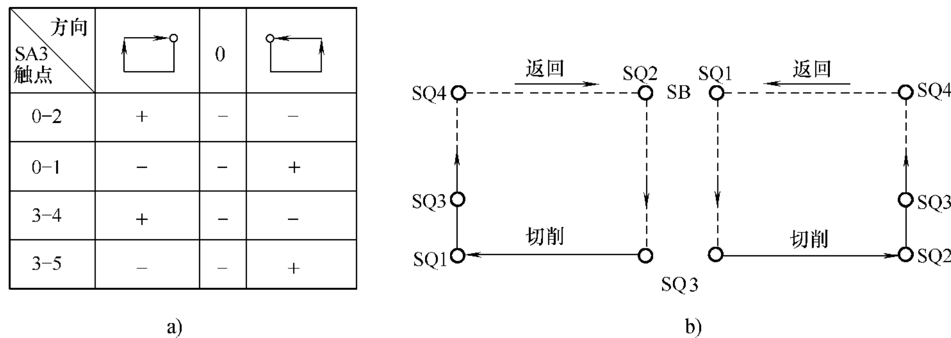
(4) 刀架的快速移动

当花键自动加工完毕，主轴停止，刀架压下终点位置的行程开关。为了节约辅

助时间，控制电路自动接通接触器 KM4 或 KM5 线圈实现快速前进或后退，当到达极限位置时，压下行程开关 SQ4，实现自动停止。

（5）自动循环过程分析

YB6016 花键铣床半自动循环过程及转换开关位置对应关系如图 6-6 所示。



SA3 触点 \ 方向		0	
0-2	+	−	−
0-1	−	−	+
3-4	+	−	−
3-5	−	−	+

图 6-6　YB6016 花键铣床半自动循环过程及转换开关位置对应关系

以从右至左的加工形式为例来介绍半自动循环。刀具在工作台右侧，先将转换开关 SA3 的触点 0-2、3-4 接通，SA4 置于自动循环状态，半自动循环过程如图 6-6b所示，液压泵先起动，KM1 线圈得电，此时按下起动按钮 SB3，则接通中间继电器 KA1 线圈电路并自锁。KA1 常开触点闭合，接通电磁铁 YA1 线圈，液压系统驱动刀架径向快速运动，当刀架快速到达背吃刀量位置时，SQ3 被压下，然后 KA1 的常开触点闭合，接通接触器 KM3 的线圈电路，其主触点闭合，电动机 M3 转动，刀具转动加工，并带动进给机构进给，刀架从右向左运动，当刀具切削结束，刀架到达工件左边，压下行程开关 SQ1，切断中间继电器 KA1 和接触器 KM3 线圈电路，电磁铁 YA1 断电，刀具停止转动，同时停止进给。在液压系统的作用下，刀架径向后退，SQ3 断开，然后接触器 KM4 线圈得电自锁，接通快速进给电动机 M4，电动机带动刀架快速运动，直到压下行程开关 SQ4，快退结束，卸下工件后，通过手动操作返回到起点 SQ2 处，一次循环结束。

从左至右的循环过程中，需要将 SA3 转换到另外一个位置，终点压下的行程开关是 SQ2，快速退回时接通了接触器 KM5。其余控制过程类似。

（6）调整控制

1）主轴点动调整。点动调整控制时，将转换开关 SA4 断开，当按下按钮 SB3 后，KA1 得电并自锁，此时按下点动按钮 SB2，线圈 KM3 得电，但不能自锁，主电动机 M3 实现点动。

2）快速进给调整。在主轴停止转动的非自动循环状态下，按下按钮 SB4 或 SB5，会使对应的接触器 KM4 或 KM5 线圈得电，但不能自锁，从而实现快进或快

退的点动调整。

6.4　YB6016 半自动花键铣床电气控制 PLC 改造

6.4.1　YB6016 改造说明与电路设计

根据 YB6016 的工作过程和已有继电器控制的电气参数，选择 FX2N 可编程序控制器进行改造。

改造过程中，主要采取的措施有：

1）由于电磁铁 YA1 是一个感性元件，为了减小对 PLC 的冲击，不直接与 PLC 的输出端口连接，而是通过中间继电器 KA1 来进行控制。

2）在经过 PLC 改造时，原来的中间继电器 KA1 用辅助继电器 M1 来代替。

3）电动机 M4 的正、反转控制接触器 KM4、KM5 与 PLC 的输出端口连接时需要在硬件电路中互锁。

4）在进行输出端口分配时，将主电动机接触器线圈放到第二组 COM 内，以减小线圈同时得电对 PLC 的影响，也减小了总的 COM1 端的工作电流。

5）分别将转换开关 SA3 的三个位置中的其中两个位置（顺铣、逆铣）占用两个输入端口。

保证主电路不变的情况下，结合输入、输出总点数，选用 FX2N—32MR 可满足要求。改造后的电气图如图 6-7 所示，元件分配表见表 6-4。

表 6-4　YB6016 低压电气元件和逻辑元件分配表

电气元件	作　　用	逻辑元件	电气元件	作　用	逻辑元件
SB1	液压泵起动	X0	SQ1	起点行程开关	X12
SB2	主电动机点动	X1	SQ2	终点行程开关	X13
SB3	循环起动	X2	SQ3	径向位置行程开关	X14
SB4	刀架点动快进	X3	SQ4	刀架限位开关	X15
SB5	刀架点动快退	X4	KM1	液压泵电动机接触器	Y0
SB6	液压泵电动机停止	X5	KM2	冷却泵接触器	Y1
SB7	主电动机停止	X6	KM3	主电动机接触器	Y4
SA3-1	进给方向选择	X7	KM4	刀架快退接触器	Y2
SA3-2	进给方向选择	X10	KM5	刀架快进接触器	Y3
SA4	自动与手动转换	X11	KA1	中间继电器	Y5

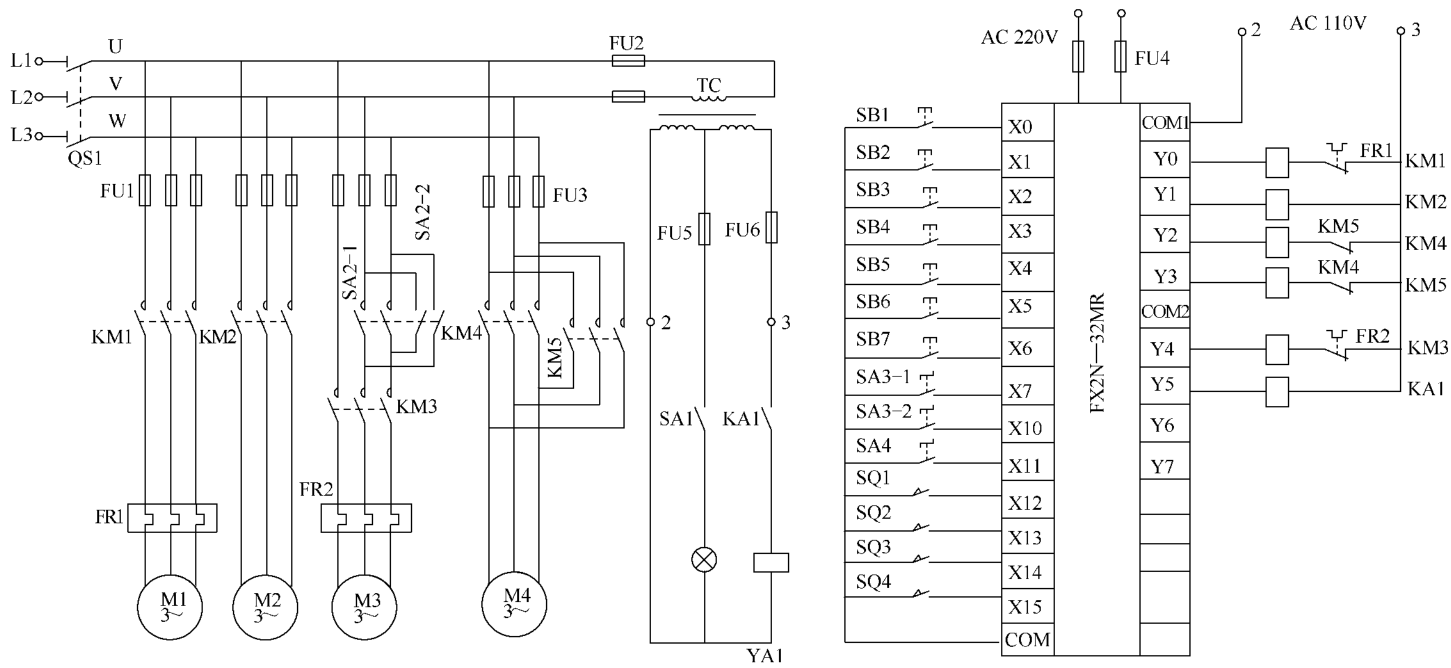


图 6-7　PLC 改造 YB6016 电气图

6.4.2 YB6016 程序设计与说明

根据控制要求和 PLC 端口分配情况，设计得到控制梯形图如图 6-8 所示。

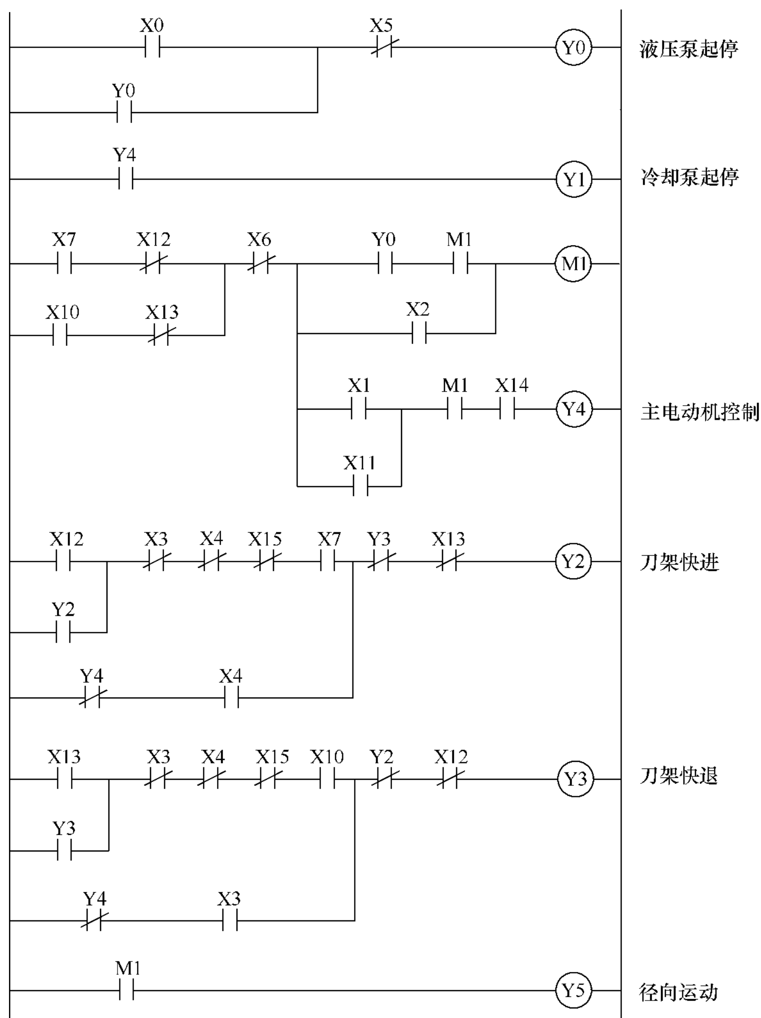


图 6-8 PLC 改造 YB6016 控制梯形图

1．半自动循环控制程序说明

(1) 准备工作

将组合开关 SA2 转换到相应位置，转换开关 SA4 闭合，将 SA3 触点 0-2 接通，刀架移动到左端 SQ1 位置，输入继电器 X11、X10 为 ON。然后按下按钮 SB1，

X0 为 ON,则输出继电器 Y0 的逻辑回路导通并自锁,接通负载接触器 KM1 线圈,液压泵起动,为自动循环做好准备。根据刀具材料、工件材料和加工参数选定刀具转速和进给速度,并调整对应的齿轮机构,为自动加工做好准备。

(2) 自动工作过程

按下按钮 SB3,输入继电器 X2 为 ON,辅助继电器 M1 逻辑回路导通,切削加工起动,此时刀具尚不在背吃刀量位置上,所以辅助继电器 M1 的常开触点驱动输出继电器 Y5 的逻辑回路导通,负载中间继电器 KA1 线圈得电,常开触点闭合,电磁铁 YA1 得电,由液压缸驱动刀架快速进给到键槽深度位置,压下行程开关 SQ3,输入继电器 X14 为 ON;X14 自动接通输出继电器 Y4 线圈逻辑回路,Y4 驱动负载接触器 KM3 线圈电路接通,主触点闭合,接通电动机 M3 电路,电动机按照预定的方向转动,电动机 M3 不仅带动刀具转动,实现切削加工需要的主运动,还通过内联系传动机构带动刀架按照选定的进给速度,从左向右运动进给,切削过程自动进行。

当刀具运动到右边终点位置时,切削加工结束,压下行程开关 SQ2,输入继电器 X13 为 ON,取反后常闭触点为 OFF,切断了辅助继电器 M1 和输出继电器 Y4 的逻辑回路,电动机 M3 停止转动,刀具停止转动,进给也停止;同时,输出继电器 Y5 和电磁铁 YA1 都断电,刀架在液压系统带动下快速后退,离开加工深度位置,SQ3 复位,X14 为 OFF,主电动机停止。另外,X13 的常开触点驱动输出继电器 Y3 的逻辑回路导通并自锁。Y3 的负载接触器 KM5 线圈得电,主触点闭合,快速电动机反转,带动刀架快速退回到 SQ4 处,压下 SQ4,输出继电器 X15 为 ON,其常闭触点切断了 Y3 的逻辑回路,快速退回停止,一次加工循环结束。

2. *点动调整*

(1) 主轴点动调整

点动调整控制时,将转换开关 SA4 断开,输入继电器 X11 为 OFF;需要先起动液压泵,然后按下按钮 SB3,输入继电器 X2 为 ON,辅助继电器 M1 得电并自锁,为点动调整做好准备。此时,按下点动按钮 SB2,输入继电器 X1 为 ON,输出继电器 Y4 逻辑回路导通,但不能自锁,驱动负载接触器 KM3 得电,主电动机 M3 实现点动,同时进行点动进给,以便进行刀具、机床、工件等位置的调整。

(2) 快速进给调整

在主轴停止转动的非自动循环状态下,按下按钮 SB4,输入继电器 X3 为 ON,接通输出继电器 Y2 逻辑回路,驱动负载接触器 KM4 线圈得电,快速移动电动机 M4 正转,主电路接通,通过传动机构带动刀架快速前进。由于 Y2 不能自锁,所以只能实现点动快进。相反,当按下按钮 SB5 时,X4 为 ON,驱动 Y3 逻辑回路和接触器 KM5 线圈电路接通,快速移动电动机 M4 反转,带动刀架快速后退。

第 7 章　刨　　床

7.1　B2012A 龙门刨床电气控制解析

7.1.1　B2012A 的工艺特点与控制要求

龙门刨床是制造重型机械设备不可缺少的工作母机，主要用来加工各种平面、斜面、槽等，特别适宜加工大型、狭长的机械零件，广泛应用于冶金、机械、运输等行业的各种设备上。

刨削加工时，工件安装在工作台上，一次可以安装一个或者多个工件。刨床的工作台带动工件作往复运动，在前进行程时进行切削加工，返回行程时不切削加工，而以较高的速度返回，以减少空行程时间。刀架需要完成自动进刀和返回行程前的抬刀动作。自动进刀是让刀具在加工平面上不断移动以加工未加工过的部位，自动抬刀是将刀具抬起，避免与工件表面相撞。为了满足刨床生产的工艺要求，刨床工作台在一次刨削加工循环中，移动速度是不断变化的，不是匀速运动。

龙门刨床的运动分为主运动、刀架的进给运动及辅助运动。主运动是指工作台作连续重复的往复运动；进给运动是指刀架的进给；辅助运动是为了调整刀具而设的运动，如横梁的夹紧、放松、上下移动，刀架的快速移动，工作台返回行程时的自动抬刀等。具体要求如下：

1）工作台有较宽的调速范围，以便加工时能选择最适合的切削速度。

2）工作台能够按照需要实现自动的往复运动，并使返回速度高于切削速度。

3）高速切削时，为了减小对刀具的冲击，应使刀具慢速切入工件，再增加到规定的速度。在前进与返回行程的末尾，工作台能自动减速，以避免工件边缘崩裂，同时可以减小返向冲程和对电动机、机械的冲击。

4）工作台在换向、减速等过度过程中应迅速、平稳。

5）工作台返回运动时，刀具必须自动抬起，以避免与工件相撞。

6）横梁在切削加工过程时必须夹紧，在上、下位置调整时需要先松开，调整到位以后再夹紧。

7）具有必要的限位、联锁保护环节，保护刨床安全运行。

7.1.2　B2012A 拖动分析

龙门刨床电气设备的主拖动方式有带拖动、电磁离合器拖动、直流发电机—电

动机组拖动、晶闸管拖动系统、液压拖动系统等，目的是获得主运动过程中需要的不同运动速度。B2012A 采用的是直流发电机—电动机组拖动，其拖动示意图如图 7-1 所示，拖动用主要电动机主电路如图 7-2a 所示。

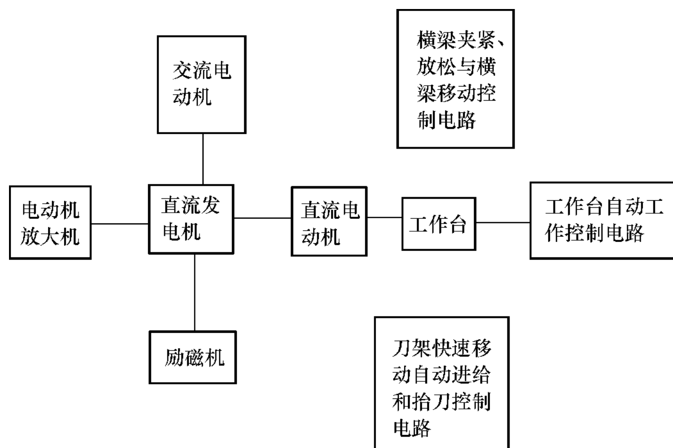


图 7-1　B2012A 拖动示意图

B2012A 龙门刨床交流机组拖动系统是由九台电动机组成，主要完成刀架、横梁、工作台往返运动的拖动等。

B2012A 的刀架有垂直刀架、右侧刀架、左侧刀架，垂直刀架主要完成工件上表面的加工，左、右侧刀架主要完成工件侧面的加工。刀架上的刀具可以同时加工工件，分别由电动机 M7、M8、M10 带动实现进给。

B2012A 的横梁可以上、下调整，以适应不同高、低工件加工的需要。横梁的拖动是由带动横梁上、下移动的电动机 M11 和实现横梁夹紧的电动机 M9 来完成的。

B2012A 的工作台往返运动的拖动系统需要在一次往返过程中不断调节移动速度，速度需要快速调节。B2012A 龙门刨床采用了调速性能好的直流调速系统，并使用常用的调压调速原理来改变直流电动机的输出速度。为了获得电压不断改变的直流电，就采用了直流发电系统，于是构成直流发电机—电动机拖动系统。直流发电机—电动机拖动系统包括电动机放大机（控制放大器）、直流发电机、直流电动机和励磁发电机（励磁机）等。其中，电动机放大机的主要作用是根据机床工作台各种运动的需要，调节其向直流发电机励磁绕组供电的输出电压，改变直流发动机的磁通量，从而调节直流发电机输出电压的高低。电动机放大机用电动机 M5 拖动，拖动直流发电机和励磁发电机用交流电动机 M1 完成。

励磁发电机主要是输出直流电压，是为直流电动机的励磁绕组提供励磁电源，

所以它必须装上合适的励磁调节器来改善系统的性能，而励磁调节器有自激放大机、电动机放大机、磁放大机、晶闸管整流器等。B2012A 采用以电动机放大机作为励磁调节器，它采用调节直流电动机电压来调节电动机的速度，并采用两级齿轮变速箱变速的机电联合调速方法。

直流发电机的主要作用是为直流电动机提供刨床工作台往复运动所需要的直流电压。直流电动机拖动刨床工作台作往返交替的直线运动，以实现对工件进行刨削加工。

B2012A 的电路主要包括电压负反馈环节、加速度调节器、电流正反馈环节、桥形稳定环节、电流截止负反馈环节、前进减速励磁控制环节、停车制动和自消磁环节等，调速电路复杂，在此不作详细介绍，只对拖动电动机控制以及与调速环节相关的部分进行讲述。

另外，通风机用电动机用 M4 来拖动，润滑泵用电动机 M6 来拖动。

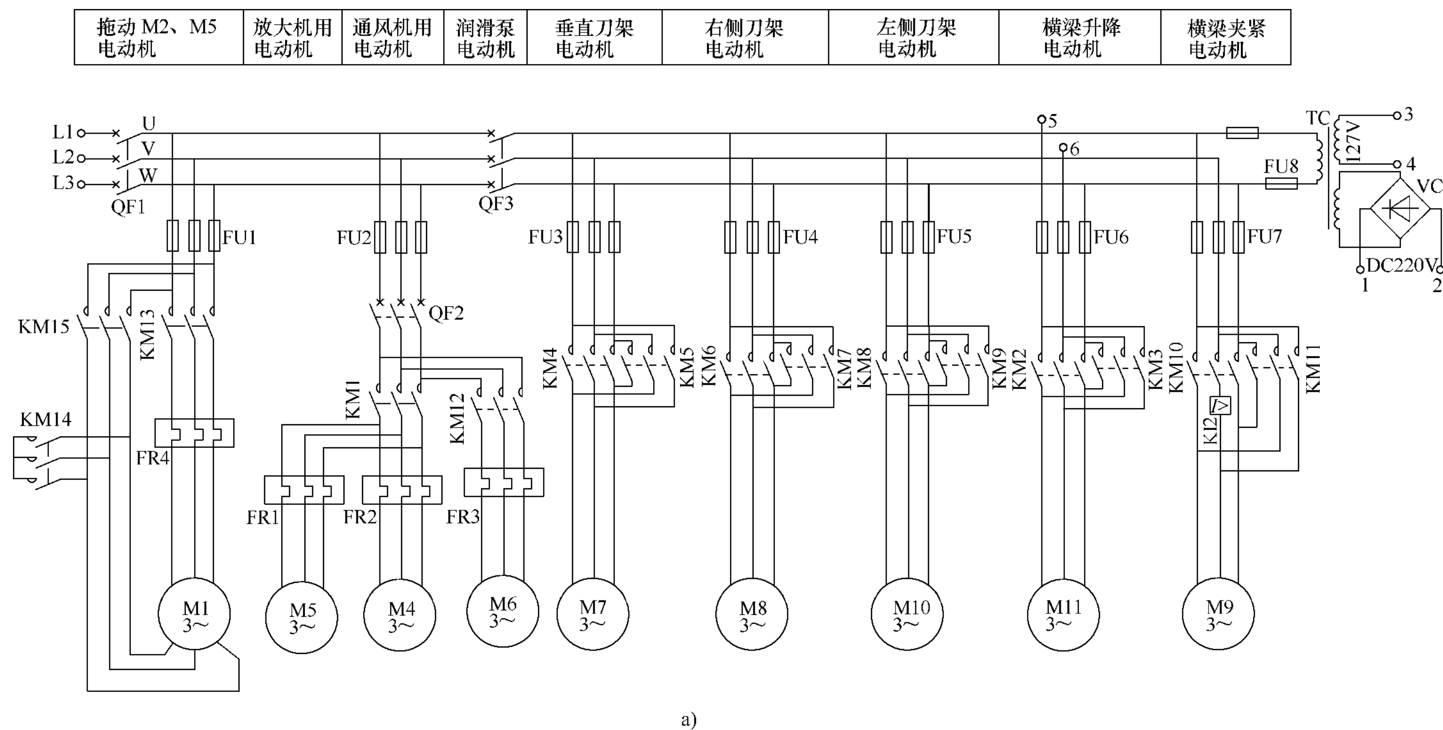
7.1.3 B2012A 电路控制分析说明

1. 主电动机的起动控制

B2012A 龙门刨床电气控制原理图如图 7-2 所示，合上低压断路器 QF1，交流指示灯 L1 亮，表示电源接通。按下按钮 SB2，接触器 KM13 线圈得电并自锁，同时通电延时时间继电器 KT1 线圈得电，接触器 KM14 线圈得电，电动机 M1 为星形联结起动。

随着电动机 M1 速度的升高，励磁机两端电压升高，当电压升高到一定数值后(一般为励磁机额定电压的 75%)，断电延时时间继电器 KT3 线圈得电(与接触器 KM1 常闭触点串联，接励磁机的输出端，图 7-2 中未画出)，其延时常闭触点断开，KT3 的延时常开触点瞬时闭合，为接触器 KM1 线圈通电做好了准备，当 KT1 延时时间到(3～4s)，KT1 延时常闭触点断开，接触器 KM14 线圈断电；KT1 延时常开触点闭合，接触器 KM1 线圈得电，其常闭触点断开，时间继电器 KT3 线圈断电，其延时常闭触点延时(1s)闭合，使接触器 KM15 线圈得电，KT1 线圈断电，电动机 M1 为三角形联结运行。由于接触器 KM1 线圈得电，主触点闭合，通风机 M5 和放大机 M4 主电路得电起动。时间继电器 KT1 的作用是实现由星形联结切换到三角形联结，时间继电器 KT3 的作用是保证在励磁机的电压达到一定值以后才能实现直流调速系统的正常工作和通风机的工作。

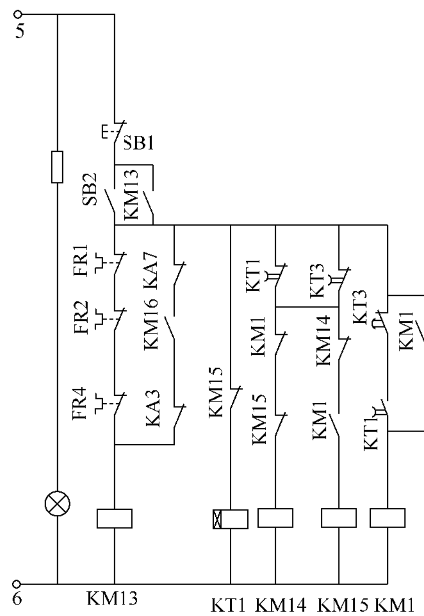
主电动机在工作过程中过载，则热继电器线圈 FR4 动作，使其常闭触点断开，KM13 线圈断电，主电动机停止。

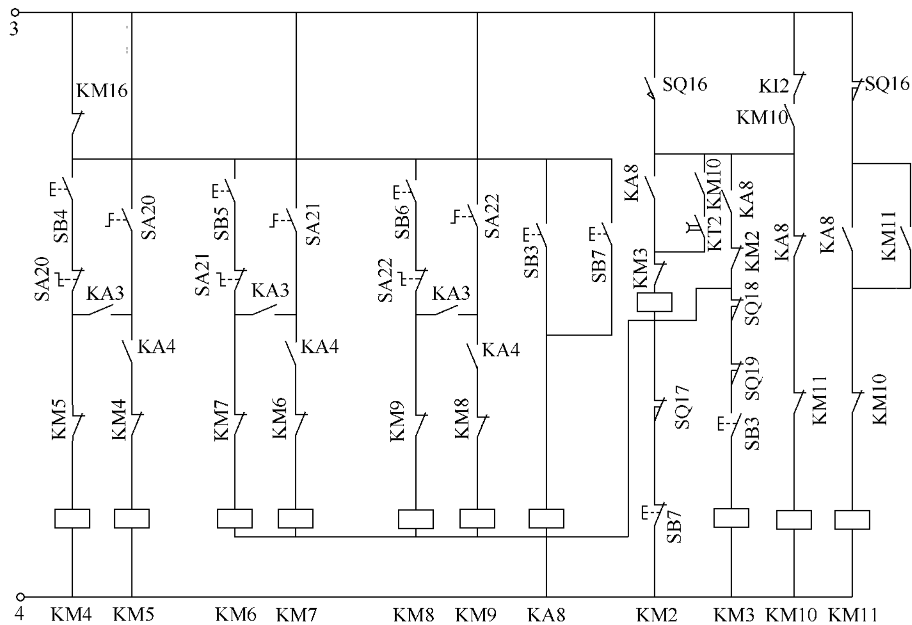


a)

图 7-2　B2012A 龙门刨床电气控制原理图

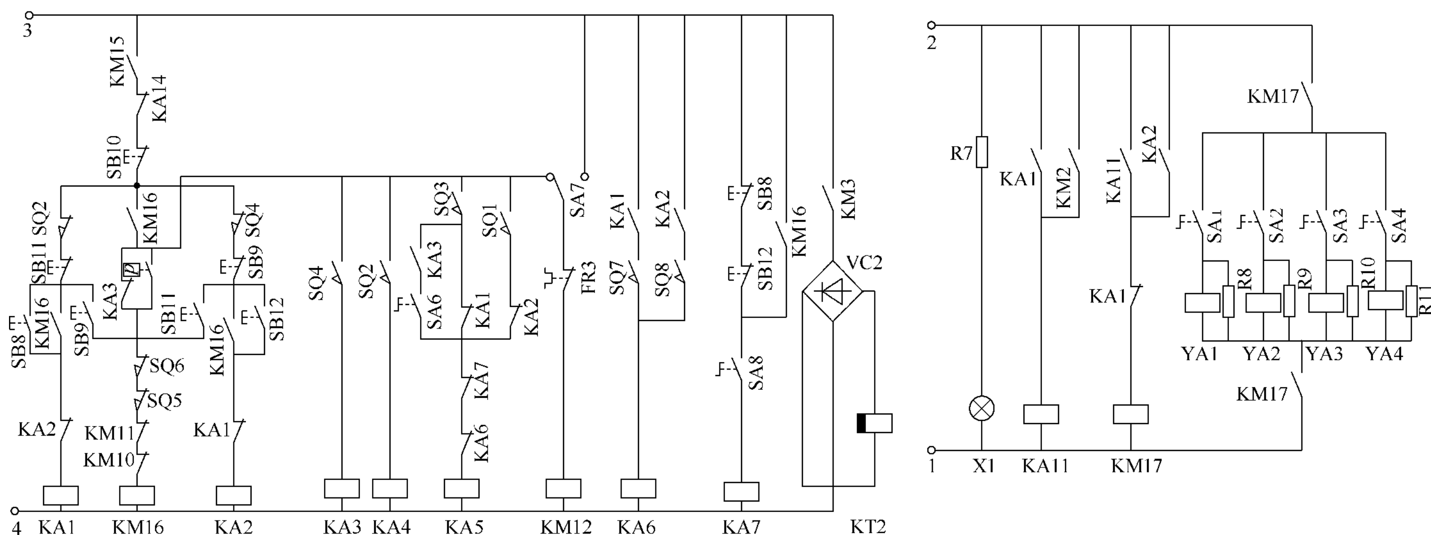
主电动机Y-△减压起动控制	垂直刀架进给运动控制	右侧刀架进给运动控制	左侧刀架进给运动控制	横梁上升与下降控制	横梁夹紧与放松





b）

工作台前进	工作台自动工作	工作台后退	后退换前进、前进换后退时接通	减速控制	润滑泵控制	工作台低速运行	工作台磨削控制	横梁下降后回升延时	左、右、垂直刀架的抬刀控制



c)

图 7-2　B2012A 龙门刨床电气控制原理图（续）

2. 刀架控制电路

刀架控制电路实现刀架的进给运动。刀架的进给分为机械进给、液压进给及电气进给等几种方法。A 系列刨床采用交流电动机拖动的机械进给方法，这种方法电气上比简单机械装置复杂，进刀精度不高。

（1）垂直刀架控制电路

刀架的控制由机械与电气共同完成。B2012A 有两个垂直刀架，每个刀架有快速移动和自动进给两种工作状态，每种工作状态有水平进给（左、右两个方向）、垂直进给（上、下两个方向）四个方向的动作，这些都由一个垂直刀架电动机 M7 来完成。

调整时，工作台自动工作标志继电器 KM16 常闭触点是闭合的，装在进给箱上的快速移动与自动进给转换手柄放在快速移动位置时，转换开关 SA20 接通。刀架运动方向选择有两个手柄，一个是选择水平、垂直进给手柄，装在刀架侧面；另一个是选择左右、上下的手柄，装在进给箱上，刀架运动方向转换手柄放在所需要的方向位置后，在控制面板上按按钮 SB4 就使 KM4 线圈通电，垂直刀架电动机就按所需要的方向作快速移动。从电路图中可以看到快速移动时，电动机只有一个运动方向，刀架运动方向的改变是靠机构传动路线来实现的。

当自动工作时，快速移动与自动进给转换手柄放在自动进给位置，在电路图上 SA20 接通，同时自动工作时触点 KM16 断开，为了保证工作台自动工作时不能进行快速移动，这时按 SB4 就不起作用了。当工作台后退换前进时，行程开关 SQ4 被制子压下，中间继电器 KA3 得电，常开触点闭合，接触器 KM3 线圈通电，电动机通过带动超越离合器正转使刀架进刀。当工作台前进换后退时，行程开关 SQ2 被制子压下，中间继电器 KA4 得电，其常开触点闭合，接触器 KM5 线圈通电，电动机 M7 反转，带动离合器反转使进给机构复位，准备下一次进刀。

（2）超越离合器工作原理

刀架的进给运动是进给电动机驱动进给变速箱、光杠、丝杠和螺母等传动件实现的。为了解决间歇的进给运动和连续的电动机转动（正转或反转），在 A 系列刨床进给变速箱内装有拨叉式双向超越离合器。双向离合器结构如图 7-3 所示。其工作原理如下：

进给运动由双向超越离合器来实现。其动作循环是原位→进刀→复位。原位时，拨叉盘的碰撞爪与调整定子 1 相撞，这时拨叉盘上的长拨爪将星轮 1 上的滚柱推离锲缝，而其短拨爪则让开星轮 2 上的滚柱，滚柱在弹簧的推动下滚入锲缝，做好进给准备。进给时，进给电动机正转，通过蜗杆 1、蜗轮 1 带动外环如图 7-3 所示方向转动，转动着的外环给星轮 2 上已滚入锲缝的滚柱以摩擦力，使滚柱进一步卡入锲缝，随之卡紧，于是外环星轮 2 及其空套在一起的星轮 1、3 和拨叉盘一起转动，星轮 3 再通过其上的滚柱将转动传给进给齿轮，开始进给，当转至拨叉盘的碰

撞爪与固定定子 2 相撞时，拨叉盘上的长、短拨爪与原位作用相反，星轮 2 上的滚柱被短拨爪推离锲缝，外环与星轮 2 脱开，进给结束；星轮 1 上的滚柱在弹簧推动下滚入锲缝，做好复位准备。这时，外环不能将转动传给星轮 1，仅作正向惯性空转。复位时，进给电动机反转，通过蜗杆 1、蜗轮 1 带动外环反转，反转着的外环将星轮 1 上的滚柱推向锲缝顷刻卡紧，于是外环也带动空套在一起的星轮 1、2、3 和拨叉盘反转，星轮 3 反转时不能将转动传给进给齿轮，所以复位时不会进给，当反转至拨叉盘的碰撞爪再次与调整定子 1 相撞时，复位结束。星轮 1、2 上的滚柱在长、短拨爪作用下，又恢复到原位时的位置，做好再次进给的准备。如此循环往复，实现原位→进刀→复位动作循环。

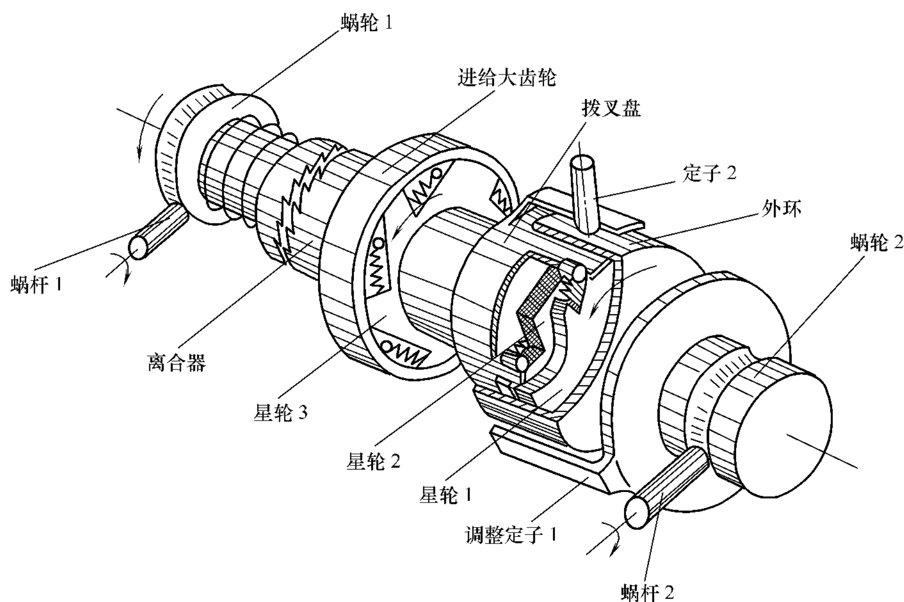


图 7-3　双向超越离合器

进给量大小可转动蜗杆 2 和蜗轮 2，改变拨叉盘上的转子与调整定子 1 的夹角。夹角大时，进给量大；夹角小时，进给量小。

刀架快速移动时，需将端面锯齿形离合器合上，进给电动机的转动不通过双向超越离合器，直接经蜗杆 1、蜗轮 1 和端面锯齿形离合器传给进给齿轮，实现刀架快速移动。

左、右侧刀架的情况基本和垂直刀架相似，所不同的是左、右侧刀架只有上、下两个方向移动。左侧快移与自动进给的转换开关是 SA22，右侧快移与自动进给的转换开关是 S21。另外一个不同点是，左、右侧刀架的运动控制线路中接入了行程开关 SQ18 和 SQ19 的常闭触点，它们是刀架与横梁的限位开关。当开动左、右

侧刀架向上运动或横梁向下运动时，碰到横梁限位开关SQ18、SQ19就自动使刀架电动机停止转动，防止刀架与横梁碰撞。

（3）工作台短行程时速度的限制

工作台工作一个周期，刀架电动机就要起动两次，因而在工作台短行程工作时，刀架电动机单位时间内起动次数增多，引起刀架电动机过热，甚至烧坏绕组，同时传动工作台的蜗轮和齿轮因换向频繁而加速疲劳破坏，工作台速度高时，处在过渡过程中，对提高速度意义不大，而且还可能发生因时间短进给进不完的现象。因而在短行程工作时，对工作台速度作了规定，可以参考有关资料。

3．横梁控制电路

横梁有放松、夹紧及上、下移动等动作，B2012A龙门刨床横梁放松与夹紧的动力用电动机M9来实现，横梁上、下移动则由电动机M11来完成。横梁控制电路如图7-2b所示。

只有在工作台停止工作，常闭触点KM16闭合时，才能操作横梁电路。

横梁作上、下移动时，在电路中自动地使横梁先放松后移动。如按横梁上升按钮SB3，中间继电器KA8线圈通电，KA8常开触点闭合，接触器KM11线圈通电，使横梁放松夹紧电动机M9工作，横梁逐渐放松。横梁放松时，控制限位开关的制子往横梁方向移动，移动到一定程度，制子使行程开关SQ16的常闭触点断开，KM11线圈断电，横梁放松完毕。

此时SQ16的常开触点闭合，由于KA8的触点已经闭合，所以接触器KM2线圈通电，横梁升降电动机M11正转动作，横梁上升。横梁移动至需要位置时，松开按钮SB3，KA8线圈断电，KM2线圈断电，横梁升降电动机M11停止工作。SQ17是横梁上升到极限位置时防止与龙门顶部相碰而采用的限位开关。

上升到位，松开移动按钮SB3后，接触器KM10线圈通电，横梁放松夹紧电动机M9反转动作，开始将横梁夹紧。到SQ16复位后，SQ16的常开触点断开，常闭触点闭合，为以后横梁放松做准备。此时，KM10线圈经过流继电器KI2的常闭触点及KM10的常开触点继续供电，横梁继续夹紧，因而电动机M9中电流增大，通过KI2线圈的电流亦增大，当电流增大到所整定的数值时，KI2的触点动作，其常闭触点断开，KM10线圈断电，横梁夹紧完毕。

由于KI2常闭触点的存在，即使操作者在横梁放松尚未完毕时松开按钮，KM10得电并自锁，能够保证横梁放松完毕后再自行夹紧。

当按下横梁下降按钮SB7时，先放松，然后横梁下降，下降到所需要位置时，松开按钮，这时除了夹紧电动机M9开始工作外，还有消除丝杠与螺母间隙的横梁稍许回升的动作，这个动作是由断电延时时间继电器KT2来完成的。当横梁下降时，接触器线圈KM3得电，触点KM3闭合，通过整流器VC2整流，KT2线圈通电，其常开触点闭合。由于触点串联的KM10是常开触点，所以KM2线圈是不通

电的，当横梁下降完毕，开始横梁夹紧时，触点 KM10 闭合，而触点 KT2 是常开延时释放触点，所以 KT2 线圈断电后它还是接通的，这时 KM2 线圈通电，横梁上升。由于 KT2 延时很短，很快延时完毕，延时触点 KT2 断开，KM2 线圈断电，此时横梁回升完毕，继续夹紧至 KI2 动作后为止。

如果发现横梁下降后回升较多，则是由于时间继电器 KT2 延时太长，可适当缩短其延时。

B2012A 主要电气元件见表 7-1。

表 7-1　B2012A 主要电气元件

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
QF1～QF3	低压断路器	KI2	过电流继电器
FR1～FR4	电动机过载保护用热继电器	KA1、KA2	工作台前进、后退中间继电器
SB1、SB2	主电动机起动停止按钮	KA3、KA4	前进转后退、后退转前进中间继电器
SB4、SB5、SB6	刀架快速移动按钮	KM1	通风机 M4、放大机 M5 控制接触器
SB3、SB7	横梁上、下控制按钮	KA6	低速运行
SB8、SB9	步进与前进按钮	KA7	磨削控制
SB10	停止按钮	KA8	横梁上、下移动中间继电器
SB11、SB12	步退与后退按钮	SQ18、SQ19	左、右侧刀架对应的横梁限位开关
P	润滑油道压力继电器	KM16	工作台自动工作中间继电器
SA1～SA4	刀架抬刀控制开关	SQ17	横梁顶端极限限位开关
SQ1、SQ2	工作台前进运动行程开关	SQ3、SQ4	工作台后退运动行程开关
KM4～KM9	刀架电动机控制接触器	KM10、KM11	横梁夹紧电动机控制接触器
SQ5、SQ6	工作台限位行程开关	SQ7、SQ8	工作台低速调节用行程开关
KA11	工作台往复运动状态	KM12	润滑液压泵电动机控制接触器
KM2、KM3	横梁升、降电动机控制接触器	KM13～KM15	主拖动电动机 M1 Y—△减压起动控制接触器
VC	整流器	KM17	抬刀运动控制接触器
KA5	减速控制	YA1～YA4	刀架抬刀控制电磁铁
SA7	润滑液压泵控制开关	SA8	工作台磨削控制
SA20～SA22	刀架自动和快速进给转换开关	SQ16	横梁放松限位行程开关
KT1	Y—△减压起动通电延时时间继电器	KT2	横梁回升用断电延时时间继电器

4. 工作台控制电路

工作台控制电路中动作比较多，有步进、步退、前进、后退、减速、换向等，这些动作大都由控制电路保证其自动控制。所以要掌握工作台控制电路，必须先了解

工作台运动的要求,其速度变化要求如图 7-4 所示。

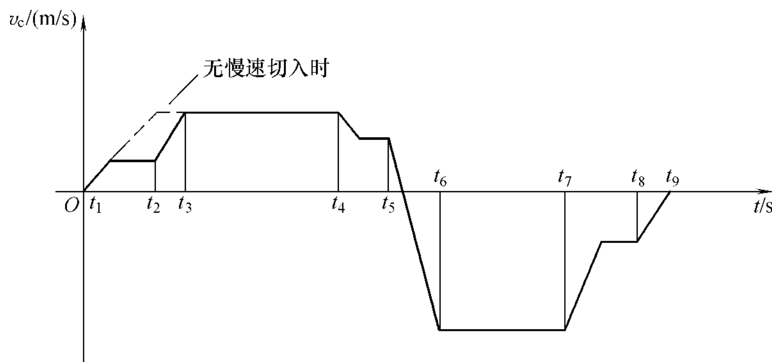


图 7-4 工作台自动循环运动速度

(1) 工作台运动速度的要求

图 7-4 中,O—t_1 为工作台前进起动阶段,t_1—t_2 为刀具慢速切入阶段,t_2—t_3 为加速至稳定工作速度阶段,t_3—t_4 为稳定工作速度阶段,t_4—t_5 为减速退出工作阶段,t_5—t_6 为反接制动到后退起动阶段,t_6—t_7 为后退阶段,t_7—t_8 为后退减速阶段,t_8—t_9 为后退反接制动阶段。

采用减速环节的理由如下:

1) 为了减小切入工件时刀具所承受的冲击,延长刀具寿命,需要刀具以较低的减速速度切入工件,然后再加速到规定的切削速度。若切削速度与冲击为刀具所能承受,或在精加工时不希望速度有变化,则亦可以不用慢速切入。

2) 某些脆性材料(如铸铁等),在刀具高速切出时,工件边缘容易产生崩裂。为了保证工件边缘的平整,在切出前把切削速度减到减速速度。

3) 高速反向前,先减速后反向,就能减小反向时所需的制动转矩,从而减小反向时传动机构中的冲击与对供电网的冲击。

4) 为了减小高速反向时的越位,保证机床在各种速度下反向时的越位稳定,在反向前先将速度减至减速速度,然后再反向。通常减速速度为机床最高速度的 1/5~1/4。

(2) 控制工作台工作的行程开关

龙门刨床工作台自动按图 7-4 的规律运动,是由安装在床身侧的六个行程开关控制的。为了熟悉工作台控制电路以及今后试车、故障检修时方便起见,必须熟悉行程开关以及制子情况。图 7-5 为行程开关及制子的分布情况。

在自动工作过程中,A、B、C、D 各个制子碰撞各自的行程开关,前进末了,制子 A 碰撞前进减速开关 SQ1,然后制子 B 碰撞前进换向开关 SQ2。工作台经过一段越位后开始后退,后退开始时,制子 B 使 SQ2 复位,然后制子 A 使 SQ1 复位。在

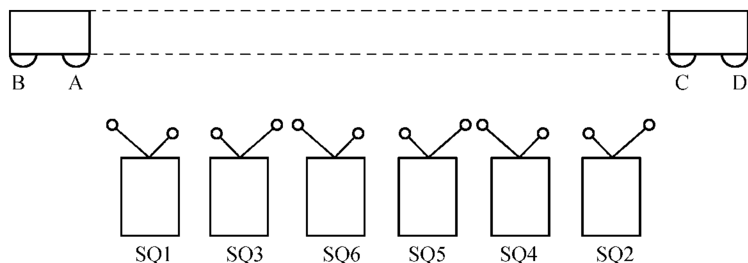


图 7-5　行程开关及制子的分布情况

后退末了时，制子 C 碰撞后退减速开关 SQ3，然后制子 D 碰撞后退换向开关 SQ4，亦是经过一段越位后后退换成前进，制子 D 将 SQ4 复位，然后制子 C 使 SQ3 复位。

前进时，碰撞 SQ2 不起作用，再碰撞安全限位开关 SQ5，不至于使工作台由于电气失灵而冲出去。SQ6 是后退方向的安全限位开关。

在工作中常由于不熟悉或者不注意行程开关零位，容易将行程开关碰坏，如工作台为前进方向，而前进减速开关不在零位，因而制子 A 将 SQ1 碰坏，所以一般都是在安装或故障检修完毕试车时先将行程开关拨在零位，注意制子扳在行程开关两侧，然后利用步进、步退功能进行试验，正常后才能利用工作台前进或后退功能进行自动工作。

制子 A、B 之间距离或 C、D 之间距离是可调的。在高速挡工作时，由于工作台动能大，因而使减速制子 B 调整到 250～300mm 左右；低速工作时使其距离减小，避免低速行程太长，降低了生产率。

高、低速挡的选择是根据加工条件来决定的。如果切削量大，工件材料硬，选低速挡。在同样速度下，低速挡的切削力比高速挡高一倍。如果切削工件材料较软，工作台的应力不会超过高速挡所允许的范围，这时选用高速挡，就可以提高工作台的切削与返回速度，提高生产率。

(3) 步进、步退与润滑控制电路

在图 7-2 上，接触器 KM15 触点在交流电动机正常运行时是接通的，所以按下步进按钮 SB8 时，中间继电器 KA1 线圈通电，使直流发电机发出步进需要的电压，直流电动机以步进速度带动工作台前进。由于无自锁触点，只能点动。步退电路亦相同。在操作时，如果行程开关 SQ2、SQ3 没有复位，则接不通电路。

在操纵台上，润滑泵控制开关 SA7 有两个工作位置，工作台不工作而需要润滑泵时，将 SA7 转换到连续位置。工作台自动工作时，SA7 转换到自动位置。转换到任意一个工作位置上，KM12 线圈通电，润滑泵电动机 M6 工作，液压泵上油，

至一定压力时，压力继电器触点P闭合，为自动工作准备条件。

（4）工作台自动工作控制电路

如果行程开关是零位，行程开关制子扳在行程开关两侧，按下前进按钮SB9，继电器KM16线圈通电自锁，其常开触点闭合，使中间继电器KA1线圈通电并自锁，工作台以前进速度前进。由于SB9是一个复合按钮，按下时，其常闭触点断开，常开触点闭合，所以中间继电器KA2不能得电。当前进末了时，制子A碰撞前进减速开关SQ1，其触点闭合，减速继电器KA5线圈通电，工作台以减速速度前进，到制子B撞到SQ2后，SQ2常闭触点断开，KA1断开，中间继电器KA2接通，工作台以调节好的后退速度开始后退，制子B使SQ2复位，在未复位前，刀架控制电路中，由于SQ2常开触点闭合，KA4线圈通电，常开触点闭合，使KM5线圈通电，进给电动机转动使进给机构复位。SQ2复位虽使触点SQ2-2断开，但因KA4断开，进给电动机停止，由于触点SQ2-1闭合，所以KA1线圈不通电，KA2通电，继续后退，制子A使SQ1复位。

后退继续进行到后退末了时，制子C碰撞后退减速开关SQ3，触点SQ3-1闭合，经触点使KA5线圈通电，以后退减速速度后退的制子D碰撞后退换向开关SQ4，触点SQ4-1断开，使KA2线圈断电，其常闭触点接通，KA1线圈通电换成前进。

在SQ4-1触点断开的同时SQ4-2触点闭合，使KA3线圈通电。从刀架控制电路中可以看出，其常开触点接通，KM4线圈通电，使刀架电动机M7转动，进给机构进给。由于制子D碰撞SQ4开关动作，但工作台有一段越位，KA1线圈通电后，工作台经一段后退越位然后才反向前进，继而制子D碰撞SQ4，使SQ4复位，复位后SQ4-2断开，KA4线圈断电，刀架电动机停止转动。刀架电动机的通电就是从换向开关SQ4动作到复位这样一段时间，进给量的多少，是由调节进给机构来完成。制子D和C依次将SQ4、SQ3复位，到此工作台完成了一次往复运动，然后重复进行自动循环工作。

如果要求工作台停止运行，则按下停止按钮SB10，断开工作台控制电路，使KM16断电，KA1和KA2也断电，相关减速继电器也断电，工作台迅速自动停车。

（5）慢速切入、低速运行、磨削控制电路

1）以较高速度切削。为了保护刀架，需要慢速切入，这时将操纵台上慢速切入开关SA6拨在“通”位置上，则在后退结束，自动变为前进时，触点KA3闭合，因而KA5线圈通电，所以反向以后以减速度前进，减速速度是不可调的（低速度挡＜4.5～10m/min，高速挡＜9～20m/min），至SQ4复位后，KA3线圈断电，KA5线圈断电，工作台以前进速度前进。

2）当前进或后退调速手柄处在低速位置时（工作台速度在低速挡为4.5～10m/min，高速挡为9～20m/min左右），SQ7或SQ8接通，使KA6线圈断电，于是KA6常开触点断开，减速继电器无法接通，这样工作台在低速运行时就没有减速动作。SQ7或SQ8是附在调速电位器RP2或RP1上的由调速手柄控制的行程开关。

3）工作台需要进行磨削时，将操作台上SA8拨在磨削位置，KA7线圈得电，使直流分压回路中接入了一个分压电阻，给定电压大大减小，这时工作台能以1m/min的速度进行磨削。此时整个工作台采用了电流正反馈和典型负反馈的双闭环控制，保证了工作台不会因为切削量的变化而产生较大的运动变化，保证了加工效率和加工精度。磨削时是没有减速动作的。

（6）保护控制电路

触点KM10及KM11是横梁夹紧与放松接触器常闭触点，它保证在横梁调整时工作台自动工作电路接不通。如果换向时，换向开关失灵（SQ2或SQ4），制子就会碰撞SQ5或SQ6，使KM16线圈断电，工作台就停止，防止工作台冲出去。

如果由于一时疏忽忘了操作，SA7处在零位，或过热继电器FR3动作，则压力继电器P断开，但工作台仍可前进，到后退末了时触点SQ4-2闭合，KA3线圈通电，常闭触点断开，使KM16线圈断电，工作台停在后退末了。设置这个保护环节的目的是防止在切削过程中发生故障而突然停车，造成刀具损坏，以及影响加工工件的表面质量，因此发生故障后，让它在后退末了停车。

在电动机组起动控制电路中，KA7、KM16及KA3串接成一支路，其作用是在工作台自动工作中，热继电器FR1、FR2、FR4任意一个动作时，由于触点KM16在自动工作时是闭合的，只有在后退末了，KA3才断开，使KM13线圈断电，使电动机M1在工作台后退末了停车。磨削时KA7是断开的，所以三个热继电器中任意一个动作时，就使M1绕组立即断电，使工作台即刻停止，假使亦要使工作台停在后退末了，则由于磨削速度低，就会使电动机过负载时间太长，造成不必要的损失。

5. 抬刀控制电路

工作台返回行程中，需要将刀架抬起，让开工件，避免与工件表面相撞。抬刀的实现方法有电磁铁抬刀、液压抬刀、气动抬刀及电动机抬刀等。A系列刨床采用电磁铁抬刀，抬刀机构如图7-6所示。

当操作步进、前进，或步退、后退时，KA1线圈或KA2线圈通电，其常开触点闭合，KA11线圈通电，使电动机—放大机控制电路中获得给定电压。

在工作时，使用哪个刀架，就将 SA1～SA4 中对应刀架的开关拨在通电的位置。工作台自动工作中，后退时触点 KA2 闭合，因而 KM17 线圈通电，抬刀线圈 YA1～YA4 通电，具体是哪把刀具要抬起，由转换开关 SA1～SA4 中闭合的开关决定，如 SA1 闭合，则 YA1 抬刀线圈得电，由推销将抬刀板顶起，实现让刀；当后退返前进时，常闭触点 KA1 断开，使 KM17 线圈断电，抬刀线圈断电。在垂直刀架上，靠抬刀板自重返回，侧刀架则由压簧拉回，拉回螺钉往里拧时使压簧起作用。

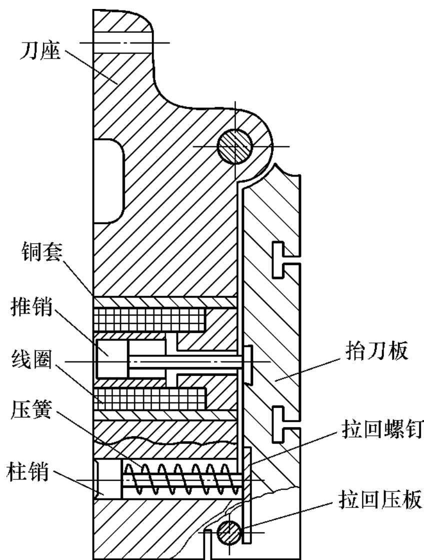


图 7-6　抬刀机构

触点 KM17 是自保触点，保证在工作台返回行程中，如果按下"工作台停止"按钮，此时工作台虽然停下，可是刀具仍保持在抬起的位置，这就避免了由于刀具落下而使工件表面与刀具本身的损坏。

抬刀电磁铁两端并联的放电电阻，是防止电磁铁线圈突然断开时产生过高电压，将电磁铁线圈绝缘击穿。

7.2　B2012A 龙门刨床电气控制 PLC 改造

7.2.1　变频器的选择与说明

当前高性能的交流变频调速系统已完全可以和直流调速系统相媲美。交流变频调速传动的优异调速性能已能取代传统的直流调速系统。采用变频技术改造原调速系统，其优点在于：

1）简化控制电路。变频器的使用极为方便，可通过其外围的少数几个端子进行全范围的控制。变频器内部有完善的保护措施，勿需在其外围电路中设计各种保护电路。由于变频器的正、反向运行是通过控制端子来改变逆变器的输出相位来实现，因此，可以比原直流调速系统少两个大型直流接触器。采用具有无速度传感器的矢量控制变频器后，还可以去掉用作传速反馈的速度传感器，使控制电路大为简化。

2）可以采用标准异步电动机。采用笼型异步电动机可以发挥它结构简单、坚固耐用、运行可靠、维修方便、价格低廉的优点，避免直流电动机定期更换、维护电刷和换向器的问题。

3）调试方便。变频器的各种运行参数调试通过智能化键盘和显示器来完成，设置方便、更改灵活、调试时间短。传统的直流调速系统调试涉及触发脉冲相位调整、转速负反馈调试等多项参数的综合统调，调试难度大、时间长，且不易达到最优控制。

按照机械设备的类型、负载转矩特性、调速范围、静态速度精度、起动转矩的要求，选择合适的变频器为富士 FRN30G9S。将原来的直流调速部分（主要是直流电动机、直流发电机、扩大机以及调速电路）去掉，改用 PLC 控制变频器，最终通过控制交流电动机 M1 的转动来控制工作台的往复运动。运动速度主要有快退速度、正常切削速度、慢速切入速度、磨削速度四种，速度大小依次降低，其中慢速切入速度和磨削速度都是单向。根据变频器 FRN30G9S 的特点，将正转起动时的速度定义为磨削速度，而变频器的分段速度输入控制端口 K1、K2、K3 分别控制快退速度、正常切削速度、慢速切入速度，分别由 PLC 的输出继电器 Y2、Y3、Y4 控制其工作。当输出继电器 Y2 为 ON 时，短接变频器 K1 和 COM 端，使变频器的输出频率按照系统设置的对应频率带动电动机转动。K2、K3 与 K1 类似。正转端口 FWD 由输出继电器 Y0 控制，反转端口 REV 由输出继电器 Y1 控制。

7.2.2　B2012A 改造说明与电路设计

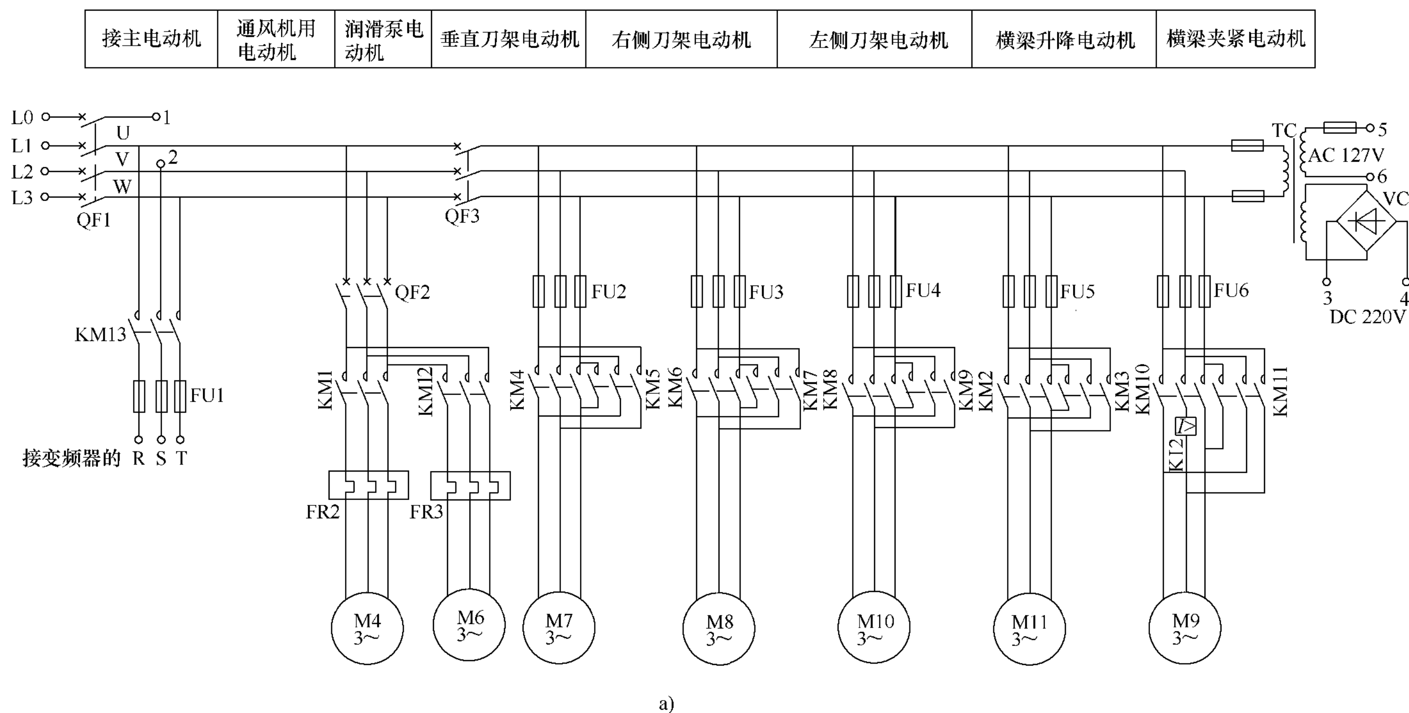
根据 B2012A 的工作过程和已有继电器控制的电气参数，选择 FX2N 可编程序控制器进行改造。首先考虑保证原有控制功能不变，尽量保留原来的电气元件，不添加新的元件。主电路不变，PLC 电源电压为交流 220V，接触器线圈负载电源为交流 127V，抬刀电磁铁线圈电源为直流 220V，照明电路和指示灯电路逻辑关系简单并独立，不作改造。输入点数和输出点数较多，选用 FX2N—80MR 能够满足要求。将以三相交流异步电动机为拖动的动力电路、PLC 连接电路及变频器控制有机结合，经过改造后的电气图如图 7-7 所示，PLC 的逻辑元件分配情况见表 7-2。

表 7-2　B2012A 主要电气与逻辑元件对照表

电气元件	逻辑元件	名称及用途	电气元件	逻辑元件	名称及用途
SB1	X0	起动	SB6	X5	左刀架快移按钮
SB2	X1	停止	SB7	X6	横梁下降按钮
SB3	X2	横梁上升按钮	SB8	X7	工作台步进
SB4	X3	垂直刀架快移按钮	SB9	X10	工作台前进
SB5	X4	右刀架快移按钮	SB10	X11	停止

（续）

电气元件	逻辑元件	名称及用途	电气元件	逻辑元件	名称及用途
SB11	X12	工作台步退	KM13	Y5	控制变频器电源
SB12	X13	工作台后退	ML1	Y7	变频器报警
SA6	X14	慢速切入控制	KM1	Y10	通风机控制接触器
SA7	X15	润滑液压泵控制开关	KM2	Y11	横梁上升控制接触器
SQ1	X16	前进换向	KM3	Y12	横梁下降控制接触器
SQ2	X17	后退换向	KM4	Y13	垂直刀架电动机正转控制接触器
SQ3	X20	前进减速	KM5	Y14	垂直刀架电动机反转控制接触器
SQ4	X21	后退减速	KM6	Y15	右侧刀架电动机正转控制接触器
SQ5	X22	限位行程开关	KM7	Y16	右侧刀架电动机反转控制接触器
SQ6	X23	限位行程开关	KM8	Y17	左侧刀架电动机正转控制接触器
SQ7	X24	工作台速度调节	KM9	Y20	左侧刀架电动机反转控制接触器
SQ8	X25	工作台速度调节	KM10	Y21	横梁夹紧控制接触器
SQ16	X26	横梁放松限位行程开关	KM11	Y22	横梁放松控制接触器
SQ17	X27	横梁顶端极限限位开关	KM12	Y6	润滑液压泵电动机控制接触器
SQ18	X30	右侧刀架对应的横梁限位开关	YA1	Y23	右侧刀架
SQ19	X31	左侧刀架对应的横梁限位开关	YA2	Y24	右垂直刀架
SA1	X32	右侧刀架抬刀控制	YA3	Y25	左垂直刀架
SA2	X33	右垂直刀架抬刀控制	YA4	Y26	左侧刀架
SA3	X34	左垂直刀架抬刀控制	KM17	Y27	后退抬刀
SA4	X35	左侧刀架抬刀控制	—	M1	自动加工状态
SA20	X36	垂直刀架进给转换开关	—	M3	后退换向
SA21	X37	右侧刀架进给转换开关	—	M4	前进换向
SA22	X40	左侧刀架进给转换开关	—	M8	横梁上升或下降
KI	X41	过电流继电器	—	M11	抬刀控制用辅助继电器
—	M5	磨削状态	KP	X42	润滑油道压力继电器
变频器端口连接	Y0	接变频器 FWD 端口控制正转	SA8	X43	工作台磨削控制
	Y1	接变频器 REV 端口控制反转	FR1	X44	热继电器触点
	Y2	接变频器高速控制端口	FR2	X46	热继电器触点
	Y3	接变频器中速控制端口	FR3	X45	热继电器触点
	Y4	接变频器低速控制端口	—	M6	低速运行



a)

图 7-7　PLC 改造 B2012A 龙门刨床电路图

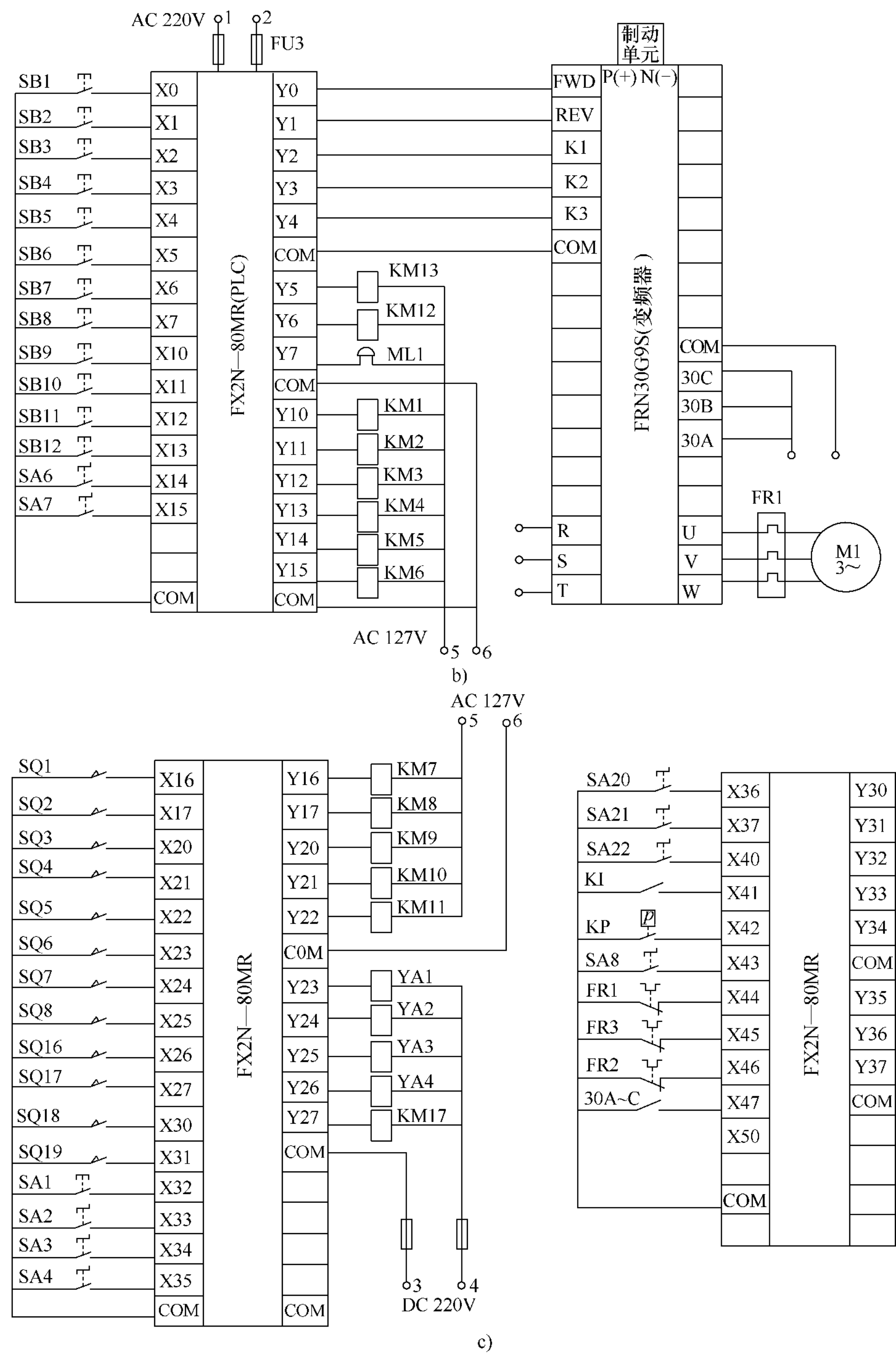
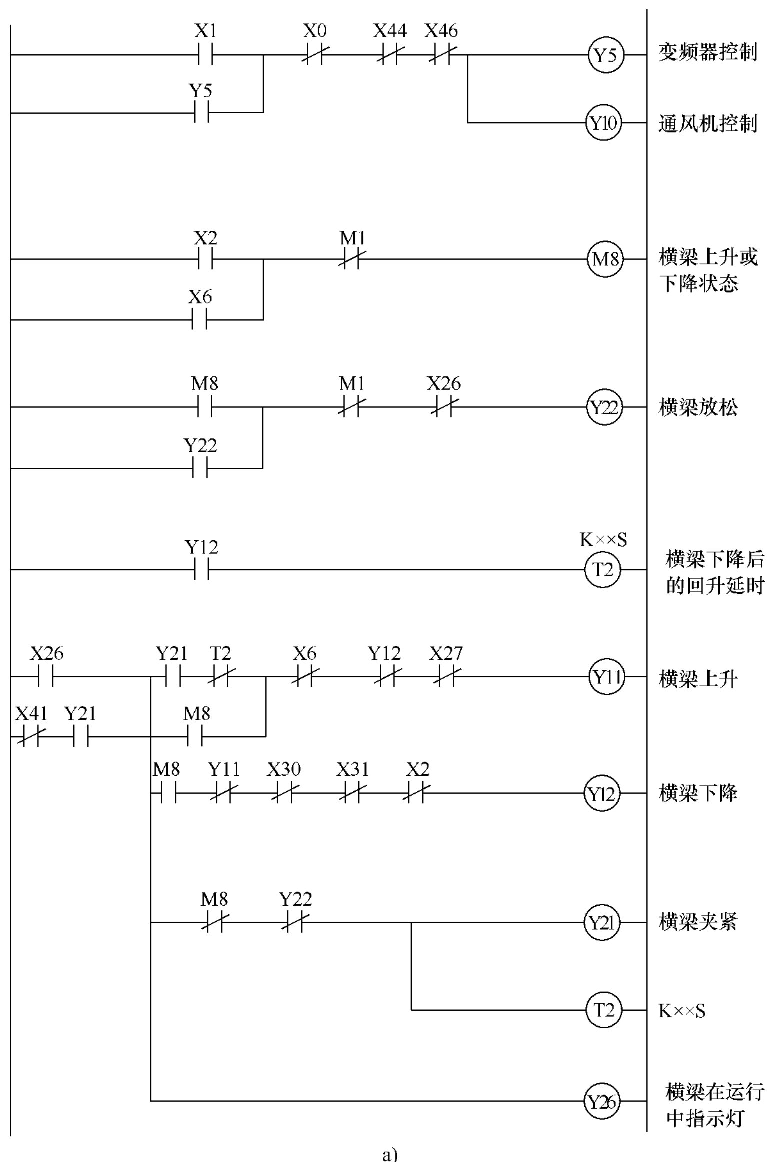


图 7-7 PLC 改造 B2012A 龙门刨床电路图(续)

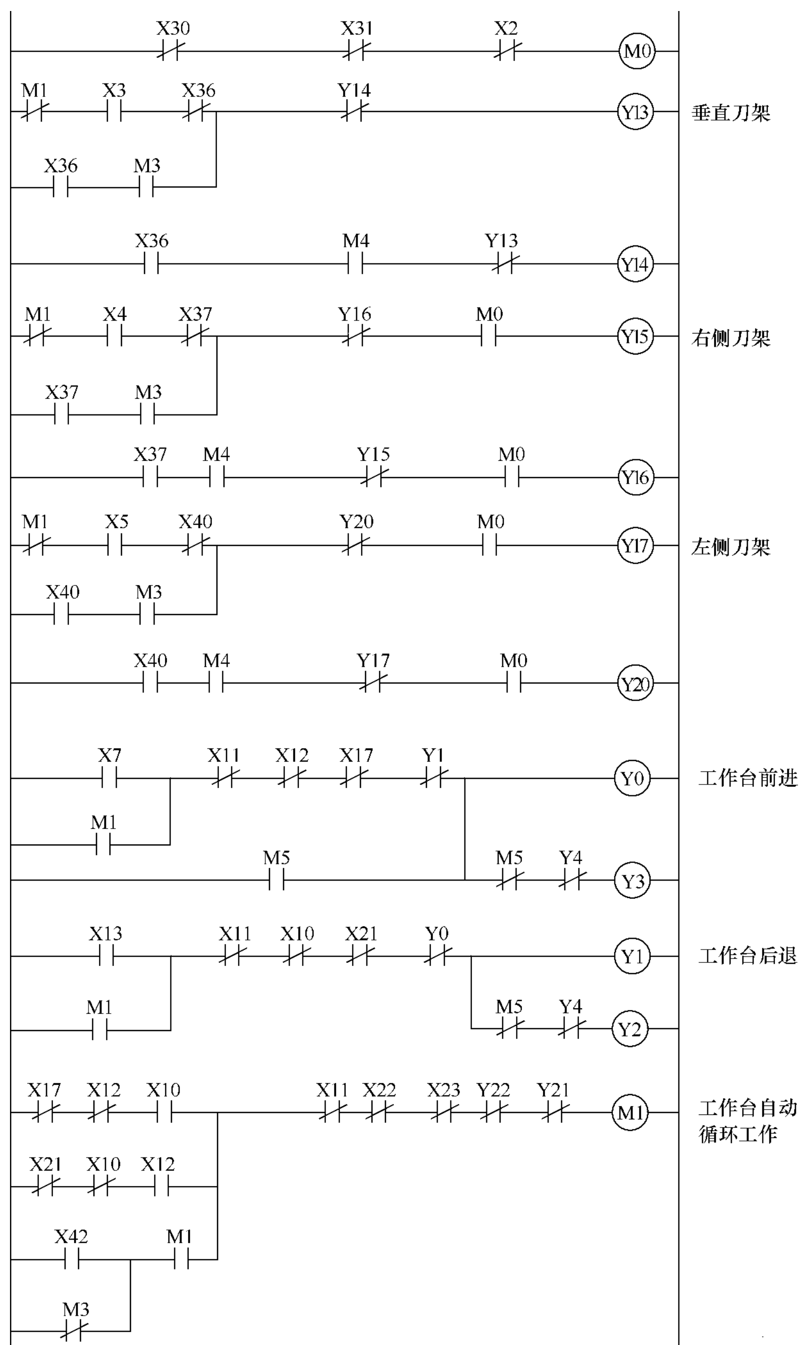
7.2.3　B2012A 程序设计与说明

根据 B2012A 的控制要求、PLC 的端口分配情况以及变频器控制的需要，设计得到控制梯形图如图 7-8 所示。



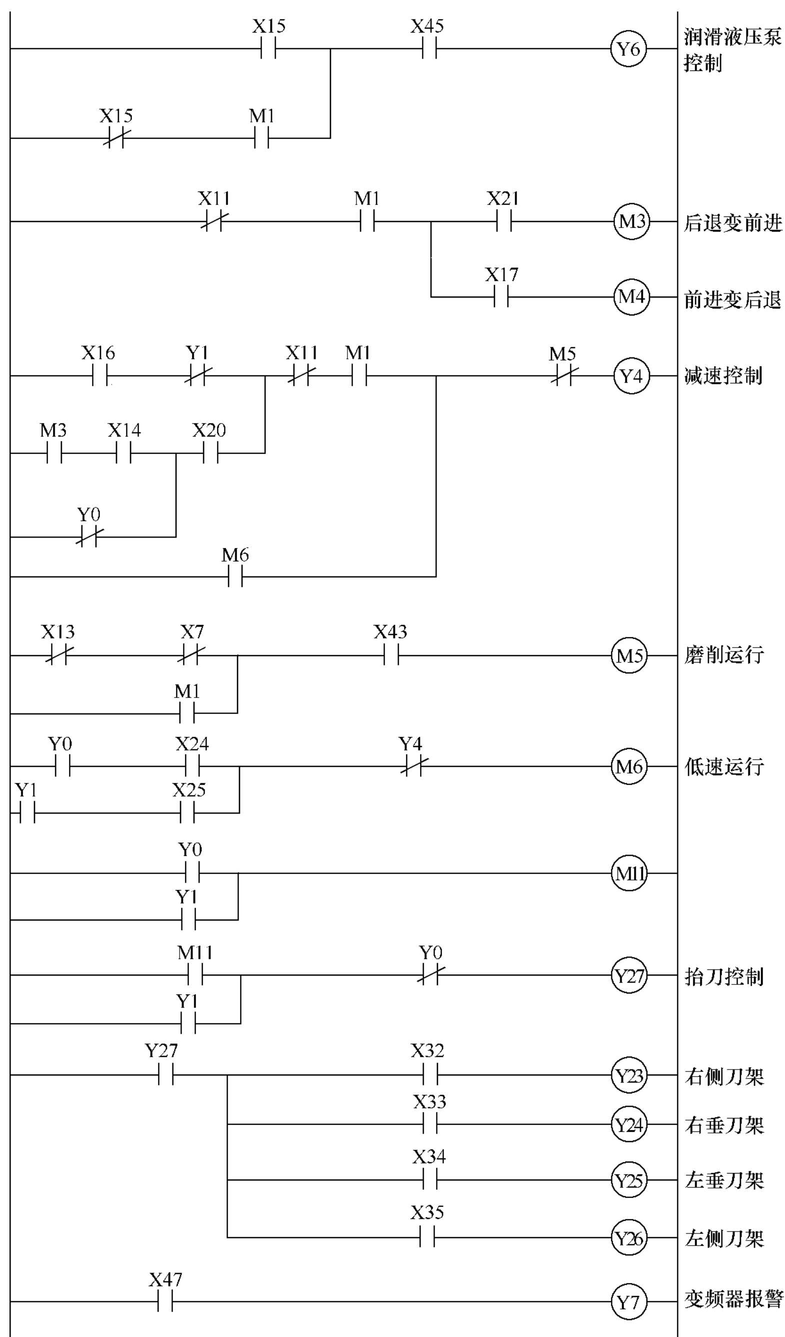
a)

图 7-8　PLC 改造 B2012A 龙门刨床控制梯形图



b)

图 7-8　PLC 改造 B2012A


X15
X45
Y6
润滑液压泵控制
X15
M1
X11
M1
X21
M3
后退变前进
X17
M4
前进变后退
X16
Y1
X11
M1
M5
Y4
减速控制
M3
X14
X20
Y0
M6
X13
X7
X43
M5
磨削运行
M1
Y0
X24
Y4
M6
低速运行
Y1
X25
Y0
M11
Y1
M11
Y0
Y27
抬刀控制
Y1
Y27
X32
Y23
右侧刀架
X33
Y24
右垂刀架
X34
Y25
左垂刀架
X35
Y26
左侧刀架
X47
Y7
变频器报警

c）

龙门刨床控制梯形图

1. 刀架控制电路

(1) 垂直刀架

将SA20置于闭合位置,输入继电器X36得电为ON,刀架置为自动工作状态;工作台在前进结束转为后退时,辅助继电器M4得电,驱动输出继电器Y14逻辑电路闭合,接触器KM5线圈回路导通,线圈得电,主触点闭合,垂直刀架电动机M7反转,带动离合器反转使进给机构复位,准备下一次进给。当工作台由后退转换成前进时,辅助继电器M3得电→输出继电器Y13逻辑电路闭合→接触器KM4线圈得电→M7正转→电动机通过带动超越离合器正转使刀架进给。工作台往返一次,自动完成一次刀架的自动进给和让刀,以此下去。

将SA20置于断开位置,输入继电器X36得电为OFF,取反后为ON,刀架置为快速移动(位置调整)工作状态,此时自动加工状态用辅助继电器M1断电。当按下按钮SB4→输入继电器X3为ON→输出继电器Y13得电→接触器KM4得电→电动机M7正转→传动机构→垂直刀架快速运动。方向由手柄位置所决定的传动机构确定。

(2) 右侧刀架

将SA21置于闭合位置→输入继电器X37得电→当辅助继电器M3得电时(后退转前进)→输出继电器Y15→接触器KM6得电→电动机M8正转→传动机构→带动右刀架自动进刀;当辅助继电器M4得电时(前进转后退)→输出继电器Y16得电→接触器KM7得电→电动机M8反转→传动机构→带动右刀架自动让刀。此为自动进给工作状态。

将SA21置于断开位置,输入继电器X37得电为OFF,取反后为ON,刀架置为快速移动(位置调整)工作状态,此时自动加工状态用辅助继电器M1断电。当按下按钮SB5→输入继电器X4为ON→输出继电器Y15得电→接触器KM6得电→电动机M8正转→传动机构→右侧刀架快速运动。方向由手柄位置所决定的传动机构确定。

(3) 左侧刀架

将SA22置于闭合位置→输入继电器X40得电→当M3得电时(后退转前进)→输出继电器Y17→接触器KM8得电→电动机M10正转→传动机构→带动左刀架自动进刀;当M4得电时(前进转后退)→输出继电器Y20得电→接触器KM9得电→电动机M10反转→传动机构→带动右刀架自动让刀。此为自动进给工作状态。

将SA22置于断开位置,输入继电器X40得电为OFF,取反后为ON,刀架置为快速移动(位置调整)工作状态,此时自动加工状态用辅助继电器M1断电。当按下按钮SB6→输入继电器X5为ON→输出继电器Y17得电→接触器KM8得电→电动机M10正转→传动机构→左侧刀架快速运动。方向由手柄位置所决定

的传动机构确定。

辅助继电器 M0 的设置是将左、右侧刀架在位置移动过程中的限位开关状态单独保存，有利于简化逻辑程序。

2. 横梁控制电路

只有在工作台停止工作时，辅助继电器 M1 断开，才能操作横梁上、下移动控制电路。

（1）横梁上移调整

横梁作向上移动时，在电路中自动地使横梁先放松后移动。按横梁上升按钮 SB3→输入继电器 X2 为 ON→辅助继电器 M8 为 ON→输出继电器 Y22 得电→接触器 KM11 线圈通电→使横梁放松，夹紧电动机 M9 正转→横梁逐渐放松→移动到一定程度，SQ16 被压下→输入继电器 X26 为 ON→输出继电器 Y22 逻辑回路断开→KM11 线圈断电→电动机 M9 停转→横梁放松完毕。

逻辑元件 X26、M8 为 ON→输出继电器 Y11 线圈逻辑回路导通→接触器 KM2 线圈得电→横梁升降电动机 M11 正转→横梁上升→到指定位置松开按钮 SB3→输入继电器 X2 为 OFF→辅助继电器 M8 断电→输出继电器 Y11 断开→KM2 断电→电动机 M11 停止转动→同时接通输出继电器 Y21→接触器 KM10 线圈得电→横梁放松，夹紧电动机 M9 反转，开始将横梁夹紧→ SQ16 被复位→此时 KM10 线圈经过流继电器 KI2 的常闭触点及 KM10 的常开触点继续供电→横梁继续夹紧→因而电动机 M9 中电流增大→通过 KI2 线圈的电流亦增大→当电流增大到所调整的数值时→过电流继电器 KI2 的触点动作→其常闭触点断开→KM10 线圈断电→横梁夹紧完毕。

（2）横梁下移调整

当按下横梁下降按钮 SB7 时，先放松，然后横梁下降，下降到所需要位置时，松开按钮，这时除了夹紧电动机开始工作外，还有消除丝杠与螺母间隙的横梁稍许回升的动作，这个动作是由定时器 T2 和一定的算法来完成的，因为 PLC 中没有断电延时时间继电器。控制过程如下：

按下 SB7→输入继电器 X6 为 ON→辅助继电器 M8 为 ON→输出继电器 Y22 得电→接触器 KM11 线圈通电→使横梁放松，夹紧电动机 M9 正转→横梁逐渐放松→移动到一定程度，SQ16 被压下→输入继电器 X26 为 ON，取反触点为 OFF→输出继电器 Y22 逻辑回路断开→KM11 线圈断电→电动机 M9 停转→横梁放松完毕。

输出继电器 X26 和辅助继电器 M8 为 ON→输出继电器 Y12 线圈逻辑回路导通→接触器 KM3 线圈得电→横梁升降电动机 M11 反转→横梁下降→到指定位置松开按钮 SB7→输入继电器 X6 为 OFF→辅助继电器 M8 断电→输出继电器 Y12 断电→KM3 断电→电动机 M11 停止转动→同时接通输出继电器 Y21 和定时器

T2线圈→接触器KM10线圈得电→横梁放松，夹紧电动机M9反转→开始将横梁夹紧→同时输出继电器Y11逻辑回路导通→接触器KM2得电→升降电动机M11正转回升→当T2的定时时间到，回升结束。另外，夹紧电动机M9继续夹紧→SQ16被复位→此时KM10线圈经过流继电器KI2的常闭触点及KM10的常开触点继续供电→横梁继续夹紧→因而电动机M9中电流增大→通过过电流继电器KI2线圈的电流亦增大→当电流增大到所调整的数值时→KI2的触点动作→其常闭触点断开→KM10线圈断电→横梁夹紧完毕。

3. 工作台控制

(1) 步进、步退与润滑控制电路

当按下按钮SB8时，输入继电器X7得电为ON，输出继电器Y0、Y3线圈逻辑回路导通为ON，变频器的正转端口和中速端口被短接，电动机以中速点动正转，实现步进操作。在操作时，行程开关SQ2没有复位，X17为ON，则接不通电路。按下步退按钮SB12，输入继电器X13为ON，输出继电器Y1、Y2逻辑回路闭合为ON，变频器的反转端口和高速端口被短接，电动机以高速点动反转，实现快速步退操作。反转后退速度根据要求要高于正转前进速度。

在操纵台上，润滑泵控制开关SA7有两个工作位置，工作台不工作而需要润滑泵时，将SA7拨在闭合位置，输入继电器X15为ON，驱动输出继电器Y6为ON，接触器KM12得电；工作台自动工作时，辅助继电器M1为ON，SA7拨在悬空位置，此时输出继电器Y6也得电，使KM12线圈通电，润滑泵电动机M6工作。液压泵上油，至一定压力时，压力继电器触点P闭合，为自动工作准备条件。

(2) 工作台自动工作控制电路

如果行程开关是零位，行程开关制子扳在行程开关两侧，按下前进按钮SB9，输入继电器X10为ON，使辅助继电器M1线圈通电自锁，输入继电器X10的取反触点使输出继电器Y1的逻辑回路不能接通，所以辅助继电器M1驱动输出继电器Y0、Y3逻辑回路导通，使变频器以中速带动主电动机正转前进。由于Y0与Y1之间有互锁触点，所以即使放开按钮SB9，电动机依然正转前进。

当前进末了时，制子A碰撞前进减速开关SQ1，其触点闭合，输入继电器X16为ON，减速输出继电器Y4线圈逻辑回路导通为ON，其取反触点使输出继电器Y3回路断开为OFF，所以此时变频器的FWD和K3端口短接，带动主电动机以低速度继续前进，工作台以减速速度前进。

到制子B撞到SQ2后，SQ2常开触点闭合，输入继电器X17为ON，取反后为OFF，Y0逻辑回路断开为OFF，取反后为ON，所以Y1逻辑回路导通为ON，短接变频器的REV端口，工作台以调节好的后退速度开始后退，制子B使SQ2复位，在未复位前，刀架控制电路中，由于SQ2常开触点闭合，输入继电器X17为ON，辅助继电器M4线圈通电，触点闭合，驱动进给电动机转动，使进给机构复位。

经过行程开关 SQ1 后，SQ1 复位，输入继电器 X16 为 OFF，Y4 断电为 OFF，Y2 则接通，变频器反转和高速端口接通，工作台快速后退。

后退继续进行，到后退末了时，制子 C 碰撞后退减速开关 SQ3，其常闭触点接通，输入继电器 X20 为 ON，经触点使输出继电器 Y4 线圈逻辑回路导通，其常闭触点断开，使输出继电器 Y2 逻辑回路断开，变频器的分段速度端口 K1 断开，电动机以后退减速速度反转后退，使制子 D 碰撞后退换向开关 SQ4，常开触点闭合，输入继电器 X21 为 ON，Y1、Y2 线圈逻辑回路断电。由于辅助继电器 M1 一直为 ON，所以 Y1 断开而 Y0 接通，工作台又开始前进。

在 SQ4 常开触点闭合时，X21 为 ON，使辅助继电器 M3 线圈通电，从刀架控制电路中可以看出，其常开触点接通，使刀架电动机转动，进给机构进给。由于制子 D 碰撞 SQ4 开关动作，但工作台有一段越位，工作台经一段后退越位才反向前进，继而制子 D 碰撞 SQ4 星轮 2 使 SQ4 复位。复位后 SQ4 断开，M4 线圈断电，刀架电动机停止转动。刀架电动机的通电就是从换向开关 SQ4 动作到复位，进给量的多少是由调节进给机构来完成。制子 D 和 C 依次将 SQ4、SQ3 复位，到此工作台完成了一次往复运动，然后重复进行自动循环工作。

如果要求工作台停止运行，则按下停止按钮 SB10，输入继电器 X11 为 ON，断开辅助继电器 M1 线圈回路，输出继电器 Y0 和 Y1 断开为 OFF，变频器正、反转端口断开，电动机停止，工作台迅速自动停车。

（3）慢速切入，低速运行、磨削控制电路

1）以较高速度切削时，为了保护刀架，需要慢速切入，这时将操纵台上慢速切入开关 SA6 拨在“通”位置上，输入继电器 X14 为 ON，在后退反前进时，SQ4 闭合，输入继电器 X21 为 ON，使辅助继电器 M3 得电为 ON，因而 Y4 线圈通电，所以反向以后以减速度前进，至 SQ4 复位后，辅助继电器 M3 线圈断电，Y4 线圈断开，工作台以前进速度前进。

2）当前进或后退调速手柄处在低速位置时，SQ7 或 SQ8 接通，输入继电器 X24、X25 为 ON，辅助继电器 M6 线圈回路断开为 OFF，于是 M6 常闭触点为 ON，输出继电器 Y4 接通，其常闭触点为 OFF，则输出继电器 Y2、Y3 无法接通，这样工作台在低速下前进或后退。

3）工作台需要进行磨削时，将操作台上 SA8 拨在磨削位置，输入继电器 X43 为 ON，辅助继电器 M5 线圈得电为 ON，切断输出继电器 Y2、Y3、Y4 的逻辑回路，变频器的速度端口 K1、K2、K3 不能接通，变频器以设定的最低转速工作，并且磨削时没有减速动作。

4. 抬刀控制电路

当操作步进、前进或步退、后退时，输出继电器 Y0 线圈或 Y1 线圈导通，其常开触点闭合，使辅助继电器 M11 线圈通电，驱动输出继电器 Y27 线圈逻辑回路导通为

ON,接触器 KM17 线圈电路闭合,线圈得电,主触点闭合,为抬刀电磁铁工作接通电源。在工作时,使用哪个刀架,就将 SA1～SA4 中对应刀架的开关拨在通电的位置。比如将 SA1 转换在接通状态,输入继电器 X32 为 ON。在工作台自动工作中,后退时输出继电器 Y1 逻辑回路闭合,驱动输出继电器 Y23 线圈得电,使对应的外部负载 YA1 的电路接通,电磁铁得电,抬刀线圈通电,刀具抬起,实现让刀。

当后退返前进时,输出继电器 Y0 得电,切断输出继电器 Y27 逻辑回路,使 KM17 线圈断电,抬刀线圈断电,刀具恢复原来位置。

输出继电器 Y27 逻辑回路可保证在工作台返回行程中,如果按下"工作台停止"按钮,此时工作台虽然停下了,但刀具仍保持在抬起的位置,这就避免了因刀具落下而使工件表面与刀具本身的损坏。

5. 变频器报警电路

当变频器在工作过程中出现问题时,其三个报警输出端口 30A、30B、30C 会产生输出信号,使对应的输入继电器 X47 闭合为 ON,输出继电器 Y7 逻辑回路接通,驱动报警扬声器发出声响。

第 8 章　拉　　床

8.1　L710 电气控制解析

8.1.1　L710 的工艺特点与控制要求

拉床是用拉刀加工各种内外成形表面的机床，主要用于加工工件的通孔、平面以及成形表面等，具有加工精度较高，拉削加工的生产效率高，并可以获得较好的加工精度（IT6 级或更高）和较低的表面粗糙度值（$Ra<0.64\mu m$）等优点；但刀具结构复杂，仅适用于大批量生产中。

拉床的运动比较简单，只有主运动而没有进给运动。拉削时，一般由拉刀在液压系统带动下作低速直线运动，被加工表面在一次走刀中形成。考虑到拉刀承受的切削力比较大，同时为了获得平稳的切削运动，所以拉床的主运动通常采用液压驱动。拉床分为立式拉床和卧式拉床，L710 是典型的卧式拉床。

L710 卧式拉床的控制要求主要包括：

1）拉削运动由液压系统提供动力。

2）液压系统需要支持拉刀拉削需要的前进和后退，还需要支持溜板液压缸的前进和后退控制。

3）拉削速度由液压系统调整。

4）只有液压泵电动机和冷却泵电动机。

5）能够实现普通周期、自动周期、全周期、半周期等工作过程控制。

8.1.2　L710 电路控制分析说明

L710 卧式拉床的控制系统电气原理图如图 8-1 所示，其低压电气元件见表 8-1。

1. 主电路

主电路控制包括液压泵电动机 M1 的控制和冷却泵电动机 M2 的控制，两个电动机 M1 和 M2 均只有一个方向的转动控制，并且不需要考虑制动问题。电动机 M1 的主电路控制由接触器 KM1 完成，电动机 M2 的主电路控制由接触器 KM2 完成；两个电动机都有过载保护和短路保护。

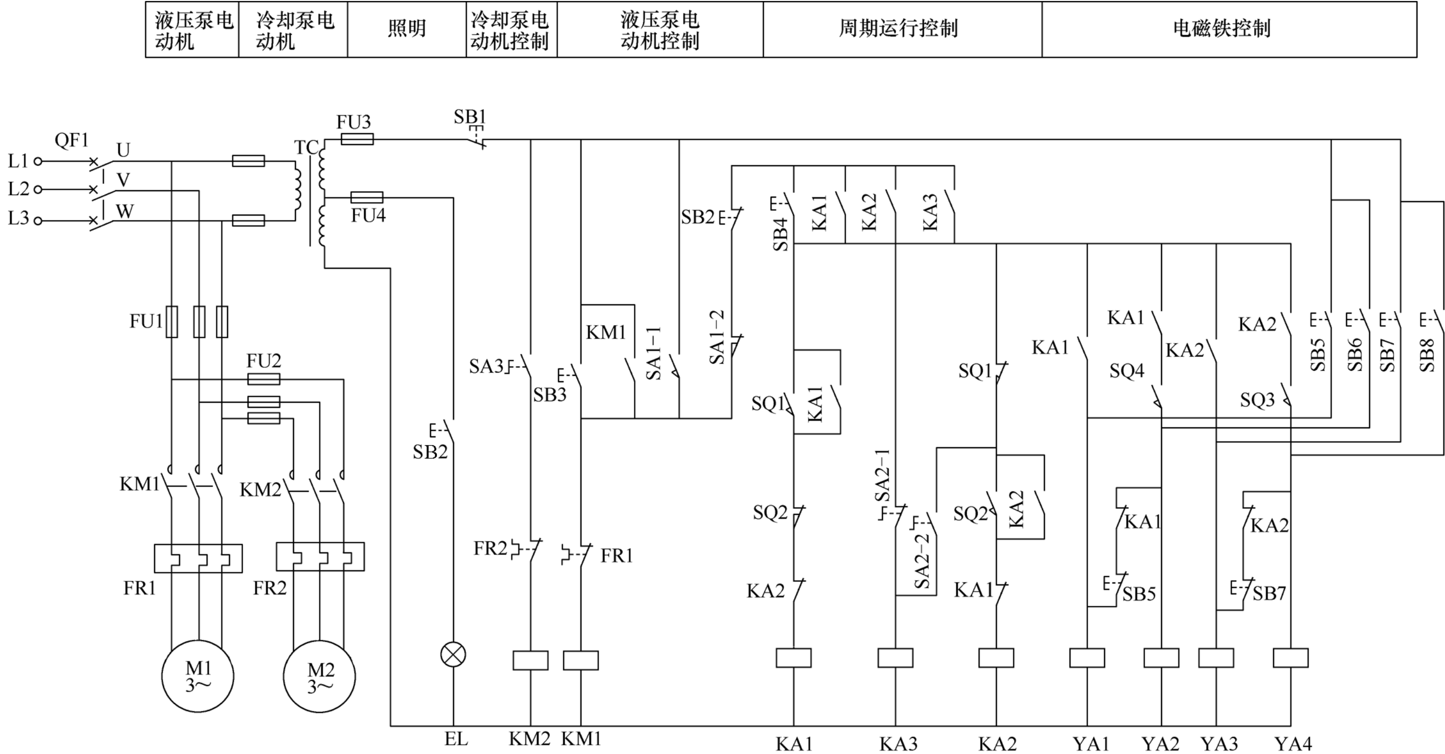


图 8-1 L710 卧式拉床的控制系统电气原理图

表 8-1　L710 低压电气元件表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	液压泵电动机	SB7、SB8	后退点动调整按钮
M2	冷却泵电动机	SA1	调整与周期转换用行程开关
KM1、KM2	接触器	SA2	全周期与自动周期转换用行程开关
FR1、FR2	热继电器	SA3	冷却泵电动机起动开关
TC	变压器	KA1	前进标志中间继电器
SB1	总停按钮	KA2	后退标志中间继电器
SB2	周期运行停止按钮	KA3	周期工作中间继电器
SB3	液压泵起动按钮	YA1、YA2	前进用电磁铁
SB4	主运动起动按钮	YA3、YA4	后退用电磁铁
SB5、SB6	前进点动调整按钮	SQ1～SQ4	液压缸行程位置开关

2. 控制电路

(1) 电动机控制

冷却泵电动机功率小,额定电流小,用转换开关 SA3 直接控制接触器 KM2。当 SA3 闭合,KM2 线圈回路闭合得电,主触点闭合,接通电动机 M2 的主电路,电动机起动,为切削加工提供切削液。当 SA3 转换开关断开,则电动机 M2 停止。

按下按钮 SB3,接触器 KM1 线圈得电并自锁,其主触点闭合,接通液压泵电动机 M1 主电路,液压泵起动,为液压系统提供压力油。

(2) 液压系统控制

液压系统需要控制溜板液压缸的前进和后退,托住并带动拉刀运动,以便装卸零件;还需要控制主油缸的前进和后退,以实现拉削运动和快速后退。控制系统主要通过控制液压系统中的电磁换向阀的位置来改变液流方向和流量,实现运动方向和速度的控制。根据拉床的主运动控制要求,其液压系统电磁铁动作顺序见表 8-2。

表 8-2　L710 液压元件动作顺序

动　　作	YA1	YA2	YA3	YA4	转换条件
溜板送刀	+	−	−	−	SB4、SQ1
拉削	+	+	−	−	SQ4
拉刀后退	−	−	+	−	SQ2
溜板退回	−	−	+	+	SQ3
停止	−	−	−	−	SQ1

在液压泵电动机工作以后,接触器 KM1 线圈得电,其常开触点闭合自锁,为

液压系统控制做好准备。该机床液压系统由四个电磁铁控制液压系统的液流方向、流量大小和压力大小，实现拉刀的前进和后退。但为了机床操作和调整需要，可以实现自动周期、全周期、半周期、普通周期四种工作方式。下面分别介绍各个控制方式的控制过程。

1）自动周期工作。SA1-2触点闭合，系统控制为周期工作状态。SA2-1触点闭合，系统控制为全周期状态。按下起动按钮SB4，中间继电器KA3得电并自锁。此时，由于溜板液压缸在原位，行程开关SQ1被压下，故中间继电器KA1线圈得电并自锁，其常开触点闭合，使电磁换向阀的电磁铁YA1得电，溜板液压缸带动护送拉刀前进。

当拉刀前进到设定的拉削位置时，压下行程开关SQ4，接通YA2电磁铁，主液压缸带动拉刀对工件进行拉削；当拉削完毕，运动到前进终点时压下行程开关SQ2，使KA1中间继电器线圈断电，YA1、YA2断电，液压缸带动拉刀停止前进，工件加工完毕，取下工件。

同时，中间继电器KA2线圈接通并自锁，其常开触点闭合，主液压缸用电磁换向阀的电磁铁YA3得电，主液压缸带动拉刀快速后退。

当拉刀快退到终点位置时，压下行程开关SQ3，使溜板液压缸用换向电磁阀电磁铁YA4线圈得电，溜板液压缸带动拉刀退回，直到压下行程开关SQ1后，中间继电器KA2停止，其常开触点断开，电磁铁YA3、YA4断电，一个周期的运行及一次拉削过程结束。

在自动循环加工中，在没有压下总停按钮SB1之前，KA3线圈一直得电，当一次循环完毕，溜板带动刀具回到原位后，SQ1又被压下，所以KA1又得电并自锁，这时再装上零件，又自动进行下一个周期循环的拉削，周而复始。

当按下停止按钮SB2或者总停按钮SB1，进给运动停止。按下SB2按钮后，中间继电器KA1、KA2、KA3和四个电磁铁均断电，但液压泵电动机仍然工作，重新按下按钮SB4，又会恢复工作。而按下总停按钮SB1后，液压泵电动机将同时停止工作。在工件装夹时间比较短的情况下，可以采用这种自动周期工作方式，以提高生产效率。

2）全周期工作。SA2-2触点闭合，则SA2-1断开，当拉刀在原位，行程开关SQ1被压下，则按下起动按钮SB4时，中间继电器KA1得电并自锁，溜板液压缸用换向电磁阀的电磁铁YA1得电，拉刀前进，同时KA3得电，当运动到SQ4位置时，主液压缸用换向电磁阀的电磁铁YA2得电，拉刀在主液压缸带动下慢速前进拉削工件，直到拉削加工完毕，运动到终点，压下行程开关SQ2，则KA2得电，主液压缸用电磁换向阀的电磁铁YA3得电，拉刀快速后退，后退到SQ3位置时，溜板液压缸用电磁换向阀的电磁铁YA4得电，溜板带动拉刀继续后退，直到压下SQ1，其常闭触点断开，KA2断电，KA3也断电。由于KA3线圈断电，KA2线圈断电，

所以回到原位以后,不能接通 KA1,周期运行停止。需要重新按下按钮 SB4 才能起动周期运动。在工件装夹时间比较长的情况下,可以采用这种全周期工作方式。

3) 普通周期工作。SA1-1 触点闭合,SA1-2 断开,系统控制为调整工作状态,这时中间继电器 KA1、KA2、KA3 线圈不能得电,更不能自锁,液压系统的控制只有通过按钮 SB5、SB6、SB7、SB8 来完成,所以只能点动控制,用于设备调整。

按下按钮 SB5 时,只有电磁铁 YA1 得电,溜板带动拉刀点动前进。

按下按钮 SB6 时,YA1、YA2 得电,主液压缸带动拉刀点动前进。

按下按钮 SB7 时,YA3 得电,主液压缸带动拉刀点动后退。

按下按钮 SB8 时,YA3、YA4 得电,溜板带动拉刀点动后退。

由四个按钮分别单独控制,完成一个周期的四个阶段,所以称为普通周期的控制过程。

4) 半周期工作。SA1-1 触点闭合,系统控制为调整工作状态,如果一直按下按钮 SB5 或者 SB6,前进用的电磁铁 YA1、YA2 得电,直到前进终点位置。反之,如果一直按下按钮 SB7 或者 SB8,后退用的电磁铁 YA3、YA4 得电,这种控制称为半周期。普通周期和半周期主要用于机床的调整。加工大小不同的零件时,其各个阶段的运动距离需要通过调整才能够确定。

8.2 L710 电气控制 PLC 改造

8.2.1 L710 改造说明与电路设计

根据 L710 立式拉床的工作过程和已有继电器控制的电气参数,选择 FX2N 可编程序控制器进行改造。首先考虑保证原有控制功能不变,尽量保留原来的电气元件。主电路不变,接触器线圈负载电源为交流 110V。照明电路和指示灯电路不作改造。

改造过程中,主要采取了以下措施:

1) 所有按钮、行程开关和转换开关都连接其常开触点。

2) 由于转换开关最多也只有两个位置,所以 SA1、SA2、SA3 都只占用一个输入端口。

3) 一个中间继电器用 PLC 的内部辅助继电器逻辑元件代替,不占用输出端口。

4) 过载保护用的热继电器常闭触点分别串联到对应的接触器线圈电路中,以减少输入端口的数量。

5) 液压电磁铁不直接与 PLC 的输入端口相连,用被省下的中间继电器来控制。

经过分析,输入、输出总点数为 21,其中输入点数为 15,输出点数为 6,所以选用 FX2N—32MR 能够满足要求。

经过改造后的电气图如图 8-2 所示,逻辑元件分配情况见表 8-3。

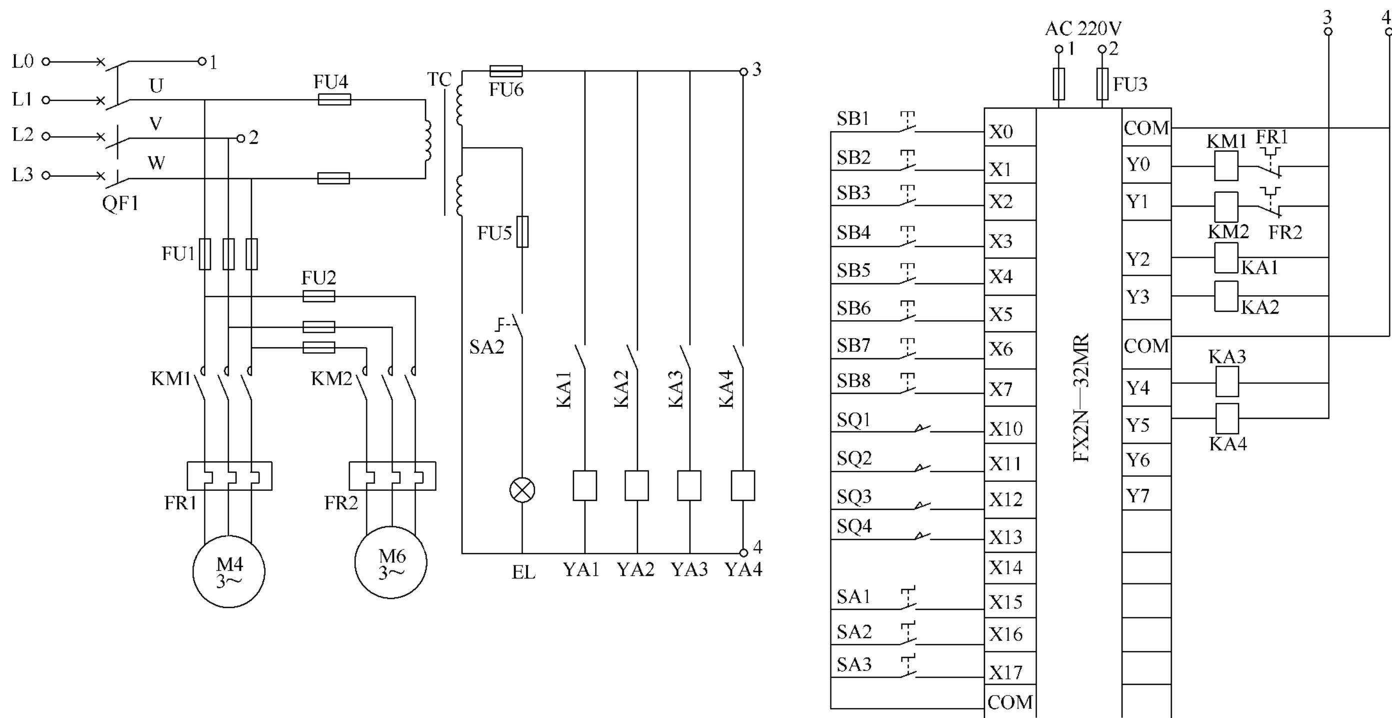


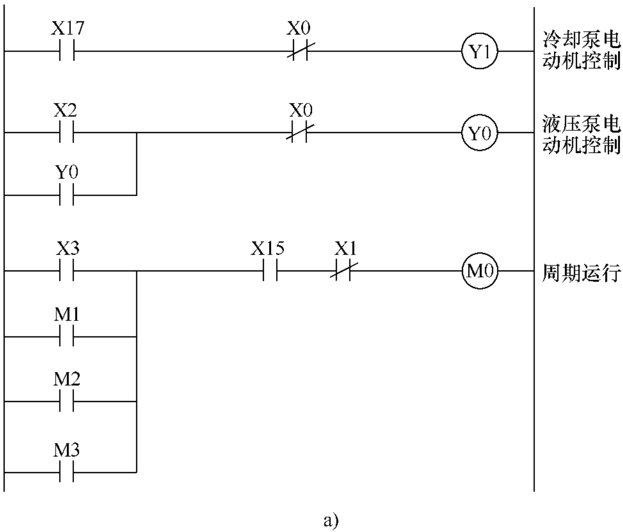
图 8-2 PLC 改造 L710 电气图

表 8-3　PLC 逻辑元件的分配

电气元件	逻辑元件	作用	电气元件	逻辑元件	作用
SB1	X0	总停按钮	SA1	X15	调整与周期转换用行程开关
SB2	X1	周期运行停止按钮	SA2	X16	全周期与半周期转换用行程开关
SB3	X2	液压泵起动按钮	SA3	X17	冷却泵电动机起停开关
SB4	X3	周期起动按钮	KM1	Y0	接触器
SB5	X4	前进点动调整按钮	KM2	Y1	接触器
SB6	X5	前进点动调整按钮	KA1	Y2	溜板前进控制电磁铁
SB7	X6	后退点动调整按钮	KA2	Y3	主运动前进控制电磁铁
SB8	X7	后退点动调整按钮	KA3	Y4	主运动后退控制电磁铁
SQ1	X10	前进行程开关	KA4	Y5	溜板后退控制电磁铁
SQ2	X11	前进行程开关	KA1(改造前)	M1	前进标志中间继电器
SQ3	X12	后退行程开关	KA2(改造前)	M2	后退标志中间继电器
SQ4	X13	后退行程开关	KA3(改造前)	M3	周期工作中间继电器

8.2.2　L710 程序设计与说明

根据 L710 的控制要求和改造后 PLC 端口的分配情况，设计得到 PLC 的控制梯形图，如图 8-3 所示。



a)

图 8-3　PLC 改造 L710 控制梯形图

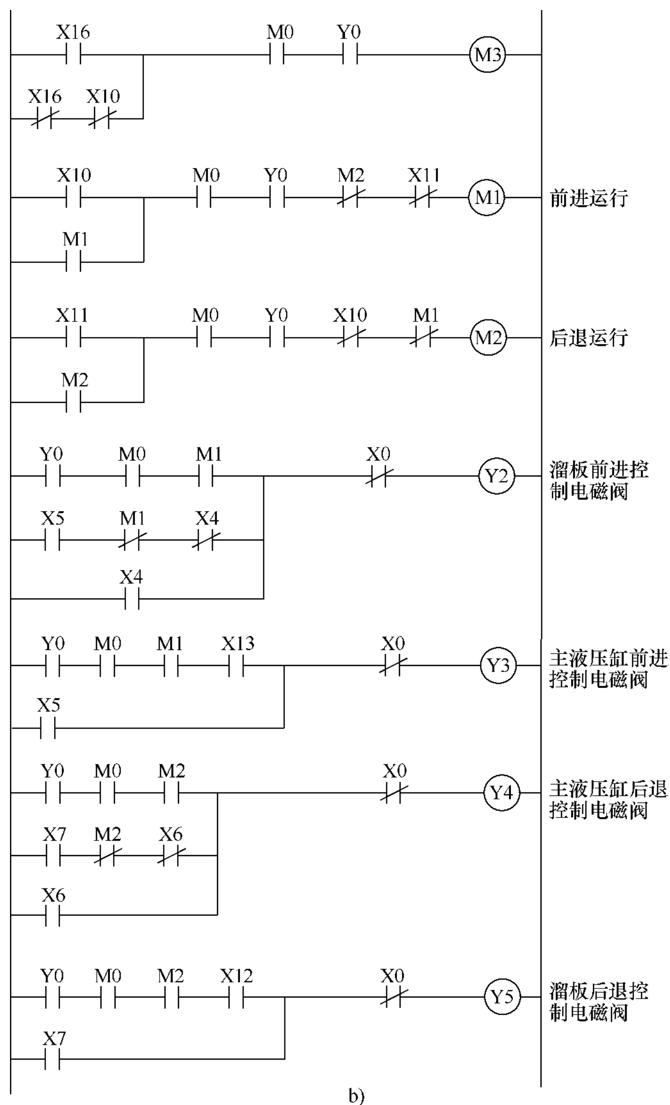


图 8-3 PLC 改造 L710 控制梯形图(续)

1. 电动机控制

当转换开关 SA3 转换到闭合位置,其常闭触点闭合,输入继电器 X17 为 ON,并一直持续闭合,驱动输出继电器 Y1 线圈逻辑回路导通,Y1 为 ON,使接触器 KM2 线圈电路闭合,线圈得电,主触点闭合,冷却泵电动机起动;当 SA3 转动到空置位置,输出继电器 Y1 线圈断开,KM2 断电,电动机 M2 停止,不需要设置按钮就能够完成起动与停止。

当按下按钮SB3→输入继电器X2为ON→输出继电器Y0为ON并自锁→接触器KM1得电→液压泵电动机M1起动。起动后,当按下按钮SB1→输入继电器X0为ON→取反后的常闭触点为OFF→输出继电器Y0断开→接触器KM1线圈断电→液压泵电动机M1停止。

2. 主运动控制

(1) 自动周期工作

转换开关SA1触点闭合,输入继电器X15为ON,系统控制为周期工作状态。转换开关SA2触点闭合,输入继电器X16为ON,系统控制为全周期状态。当拉刀在原位时,SQ1行程开关被压下,输入继电器X10为ON,周期循环工作过程控制如下:按下按钮SB4→输入继电器X3为ON→辅助继电器M0为ON(周期工作状态)→辅助继电器M3逻辑回路导通并自锁→辅助继电器M1自锁为ON→输出继电器Y2线圈逻辑回路导通为ON→驱动中间继电器KA1线圈得电→KA1常开触点闭合→驱动电磁铁YA1线圈得电,溜板液压缸护送拉刀前进。

当前进到行程开关SQ4位置,输入继电器X13为ON,驱动输出继电器Y3线圈逻辑回路导通为ON→中间继电器KA2线圈回路得电→KA2常开触点闭合→电磁铁YA2线圈得电→主液压缸带动拉刀前进。当压下行程开关SQ2时,输入继电器X11为ON→驱动辅助继电器M2线圈逻辑回路导通并自锁→辅助继电器M1线圈逻辑回路断开→输出继电器Y2、Y3和中间继电器KA1、KA2断电→前进结束。

同时,由于输入继电器X11和辅助继电器M2为ON→驱动输出继电器Y4为ON→中间继电器KA3得电→KA3常开触点闭合→使电磁铁YA3线圈得电→主液压缸带动拉刀快退。

当主液压缸带动拉刀快退到行程开关SQ3位置时→输入继电器X12为ON→输出继电器Y5线圈逻辑回路导通→驱动中间继电器KA4得电→KA4常开触点闭合→电磁铁YA4得电导通→溜板液压缸带动拉刀退到初始位置,压下行程开关SQ1→输入继电器X10为ON→取反后的常闭触点为OFF→辅助继电器M2为OFF→输出继电器Y4、Y5线圈逻辑回路断开为OFF→电磁铁YA3、YA4线圈断电→溜板液压缸停止后退→一次循环结束。

由于辅助继电器M0一直为ON,溜板带动拉刀回到原位以后,压下SQ1,使X10为ON,又驱动M1得电,自动转入下一个周期的工作过程。

(2) 全周期运行

转换开关SA1闭合,SA2断开,其中输入继电器X15为ON,X16为OFF。当拉刀在原位,行程开关SQ1被压下,输入继电器X10为ON,则按下起动按钮SB4时,输入继电器X3为ON。在辅助继电器M3回路中,X16的取反触点与X10取反触点组成串联逻辑支路,当SQ1被压下时,辅助继电器M3不能导通,而辅助继

电器 M0 得电并自锁，驱动 M1 工作。只有当溜板带动拉刀脱离原始位置后，辅助继电器 M3 才能导通，以保证一个周期的工作。当拉刀返回原位时，压下行程开关 SQ1，X10 为 OFF，导致辅助继电器 M3 逻辑回路断开，不能连续下一个周期的自动运行，故称为全周期工作方式。

（3）调整工作方式

在输出继电器 Y2、Y3、Y4、Y5 的逻辑回路中分别并联了对应的逻辑分支，当按下按钮 SB5 时→输入继电器 X4 为 ON→输出继电器 Y2 为 ON，但不能自锁→中间继电器 KA1 得电，常开触点闭合→电磁铁 YA1 得电→拉刀点动前进。

当按下按钮 SB6 时→输入继电器 X5 为 ON→输出继电器 Y2、Y3 逻辑回路导通，不能自锁→中间继电器 KA1、KA2 得电→电磁铁 YA1、YA2 得电→拉刀以快进速度点动前进。

当按下按钮 SB7 时→输入继电器 X6 为 ON→输出继电器 Y4 为 ON，不能自锁→电磁铁 YA3 得电→拉刀点动后退。

当按下按钮 SB8 时→输入继电器 X7 为 ON→输出继电器 Y4、Y5 导通为 ON，不能自锁→电磁铁 YA3、YA4 得电→拉刀点动后退。

第 2 篇　专用机床的电气控制系统设计

第 9 章　多工位回转工作台组合机床控制系统

9.1　多工位组合机床的继电器-接触器控制设计

9.1.1　多工位回转工作台组合机床的工艺特点

回转工作台多用于多工位组合机床上，它可以有多个加工工位，被加工工件在回转台上定位夹紧，工作台回转一周完成在该机床上的全部加工工序。多工位回转工作台组合机床是一种自动化程度较高、生产效率较高的组合机床，工作台上有多个工位，同时安装多个零件加工，每个工位上的加工内容各不相同，由对应的刀具完成；工件在一次装夹后，分别由多把刀具同时加工，所以效率非常高。多工位回转工作台的主要结构包括一个回转工作台和安装动力头的滑台，有几个加工工位，就有几个结构动力头和对应的安装滑台。根据滑台的布置和需要，组合机床分为卧式和立式两种。立式结构紧凑，占地少；卧式结构布置灵活，特别适合于进给有不同要求的加工表面。本文以钻、扩、铰多工位组合机床为例，介绍卧式结构的组合机床控制。加工工位布置如图 9-1 所示。

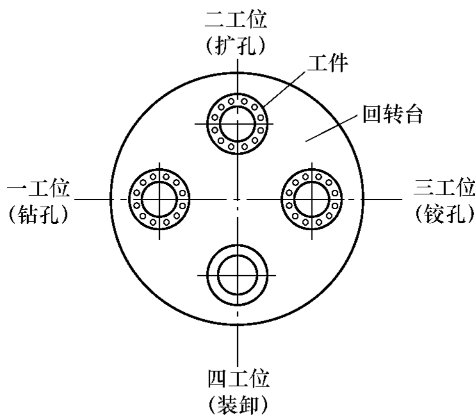


图 9-1　加工工位布置示意图

多工位回转工作台组合机床主要的控制包括回转工作台的自动回转控制和各个工位上的液压滑台、动力头的控制。

1）回转工作台的自动工作循环为回转台抬起→回转台回转→回转台反靠→回转台夹紧。

2）动力头滑台的自动进给为三个动力头快进→动力头分别工进→延时停留（等待工进结束）→动力头快退。动力头电动机在自动循环的工进阶段开始旋转。

由于工件在钻孔、扩孔、铰孔工位上刀具的快进、工进、快退的距离可能各不相同，进给速度可能各不相同，所以每个动力头需要采用不同的液压控制系统，协同控制来完成。

9.1.2 多工位回转工作台组合机床液压系统说明

回转工作台及三个液压滑台的液压系统原理图如图 9-2 所示，包括回转工作台的液压回路和液压滑台的液压回路。下面介绍液压回路的工作情况。

(1) 回转工作台的液压回路

回转工作台的液压回路主要为四个液压缸的运动提供动力，它们分别是回转工作台夹紧缸 1G、定位销伸缩缸 2G、回转缸 3G、离合器 7 分离用液压缸 4G 四个液压回路。

1) 1G 液压回路。1G 的作用是实现工作台的夹紧与松开，在每一次转位之前必须松开工作台，然后才能回转；在转位以后，工件加工过程中，又必须夹紧，以防工作台发生位移运动，影响加工质量。

其松开油路是：液压泵→电磁阀 YV1 左位→1G 下腔→抬起工作台。

其油路是：液压泵→电磁阀 YV1 右位→1G 上腔→向下夹紧工作台。

2) 2G 液压回路。2G 的作用是实现定位销 4 的伸缩运动，在每次转位之前，需要将定位销 4 往下缩回，不要挡住定位块 1，以便定位块 1 和工作台一起转动。当转位到一定距离后，定位销 4 在 2G 的带动下向上伸出，挡住下一工位上的定位块，实现定位。

其向下缩回油路是：液压泵→电磁阀 YV1 左位→2G 上腔→活塞杆克服弹簧下移。

伸出时是靠弹簧作用，将伸缩销弹出复位。

3) 3G 液压回路。3G 的作用是通过 3G 活塞杆上的齿条带动齿轮转动，经过离合器和工作台下面的齿轮带动工作台转动，当活塞杆向右移动时，工作台顺时针转动；当活塞杆左移时，工作台逆时针转动，实现反靠。其右移液压油路是：液压泵→减压阀 JF→电磁阀 YV3 左位→3G 左腔→活塞杆右移。3G 右腔的油经过节流阀 L 流回油箱，则活塞杆右移速度慢；经过电磁阀 YV2 流回油箱，则速度较快。

3G 左移油路是：液压泵→减压阀 JF→电磁阀 YV3 右位→节流阀 L→3G 右腔→活塞杆左移。主要是实现反靠。

4) 4G 液压回路。4G 的主要作用是将离合器 7 分开或者结合。在正常回转时，离合器 7 应该结合，4G 在弹簧作用下处于复位状态。当回转结束后，为了让液压缸 3G 的活塞杆回到左端，又不至于带动工作台转动，此时，需要将离合器 7 分开。

分开时的油路是：液压泵→减压阀 JF→电磁阀 YV4 左位→4G 下腔→活塞杆上移，克服弹簧作用带动离合器 7 上部分结构移动，脱离啮合。待 3G 复位以后，YV4 处于右位，4G 在弹簧作用下下移，离合器 7 又结合。

液压回转工作台回转时各电磁铁及限位开关工作状态见表 9-1。

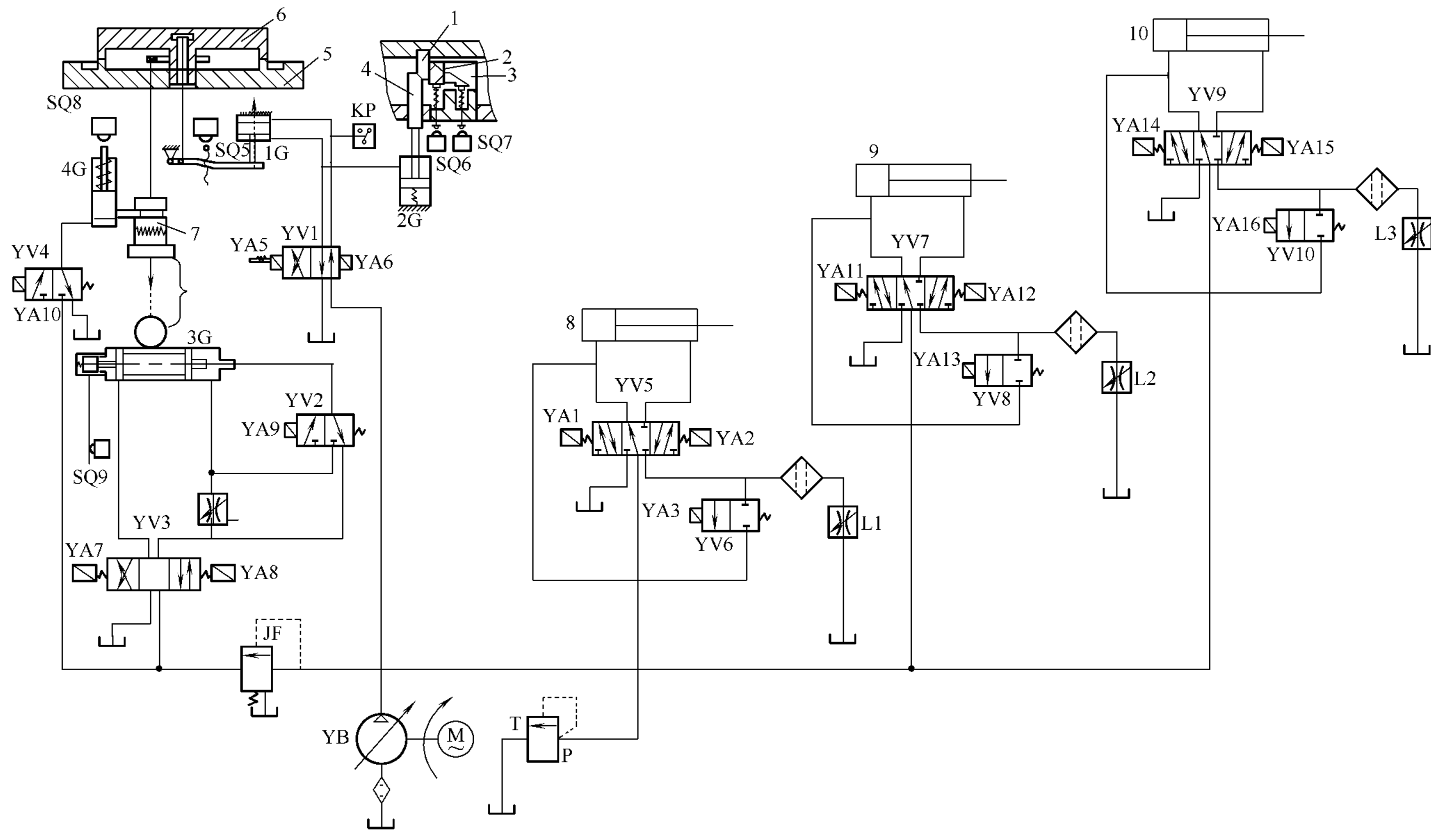


图 9-2　回转工作台及三个液压滑台的液压系统原理图

1—定位块　2—滑块　3—固定挡铁　4—定位销　5—底座　6—回转工作台　7—离合器
8—钻削进给液压缸　9—扩孔进给液压缸　10—铰孔进给液压缸

表 9-1　液压回转工作台回转时各电磁铁及限位开关的工作状态

工步 \ 元件	液压电磁换向阀的电磁铁						转换开关
	YA5	YA6	YA7	YA8	YA9	YA10	SQ5
回转台原位	−	−	−	−	−	−	KP
回转台抬起	+	−	−	−	−	−	+
回转台回转		−	+	−	−	−	SQ6
回转台反靠		−	−	+	+	−	SQ7
回转台夹紧	−		−	−	−	−	
离合器脱开	−		−	+	−	+	KP
液压缸返回	−		−		−	−	SQ8、SQ9

（2）液压滑台的液压回路

三个液压滑台的液压回路是带动对应的滑台作快进→工进→快退，分别由液压缸 8、9、10 完成。以钻削液压缸为例简单介绍其液压油路。

1）快进时：液压泵→电磁阀 YV5 左位→钻削缸 8 左腔→活塞杆右移。钻削进给液压缸 8 右腔的油经过 YV5 左位，再经过 YV6 左位流回钻削进给液压缸 8 左腔，形成差动油路，速度较快。

2）工进时：流入钻削进给液压缸 8 的油路与快进一样，不同之处是，从钻削进给液压缸 8 流出的油不经过 YV6，而是经过节流阀 L1 流回油箱。由于经过了节流阀的节流作用，所以液流速度慢，活塞杆移动速度慢。

3）快退时：液压泵→电磁阀 YV5 右位→钻削缸进给液压 8 右腔→活塞杆左移。钻削进给液压缸 8 左腔的油直接经过 YV5 流回油箱，流速较快，钻削滑台快速退回。

其他滑台的液压油路相似，不再介绍。

9.1.3　电路控制设计与说明

1. 主电路

主电路共有五台电动机，M1 为钻削动力头电动机；M2 为扩孔动力头电动机；M3 为铰孔动力头电动机，M4 为液压泵电动机，M5 为冷却泵电动机。M1、M2、M3 由接触器 KM1、KM2、KM3 分别控制，基本上可以同时起动和停止；M4、M5 分别由接触器 KM4、KM5 控制，冷却泵可以在快进结束时工作，也可以在快进开始时工作，由一台冷却泵为工作台上的三个零件同时提供切削液；三个液压滑台的压力油由一台液压泵提供。五台电动机都有过载保护和短路保护，不需要正、反转。多工位回转工作台组合机床电气原理图如图 9-3 所示，电气元件见表 9-2。

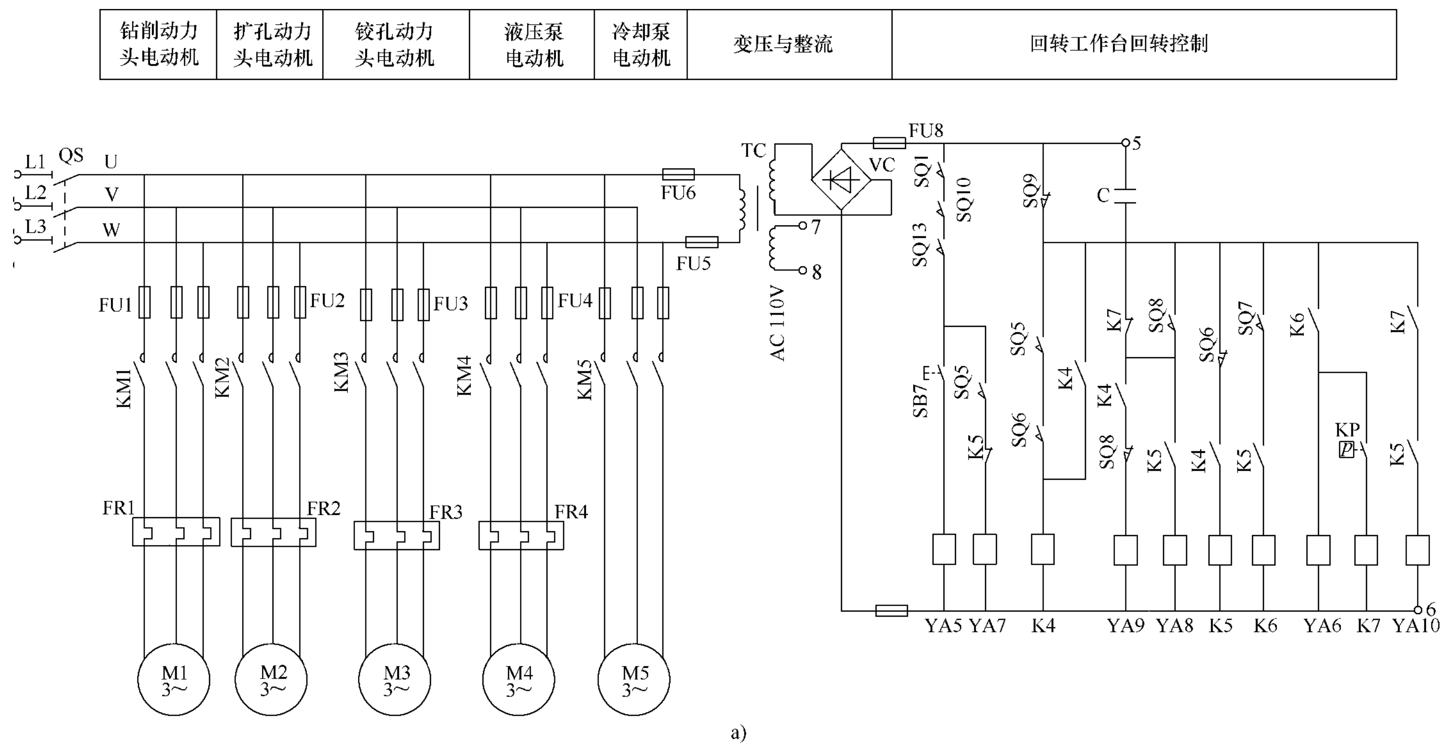
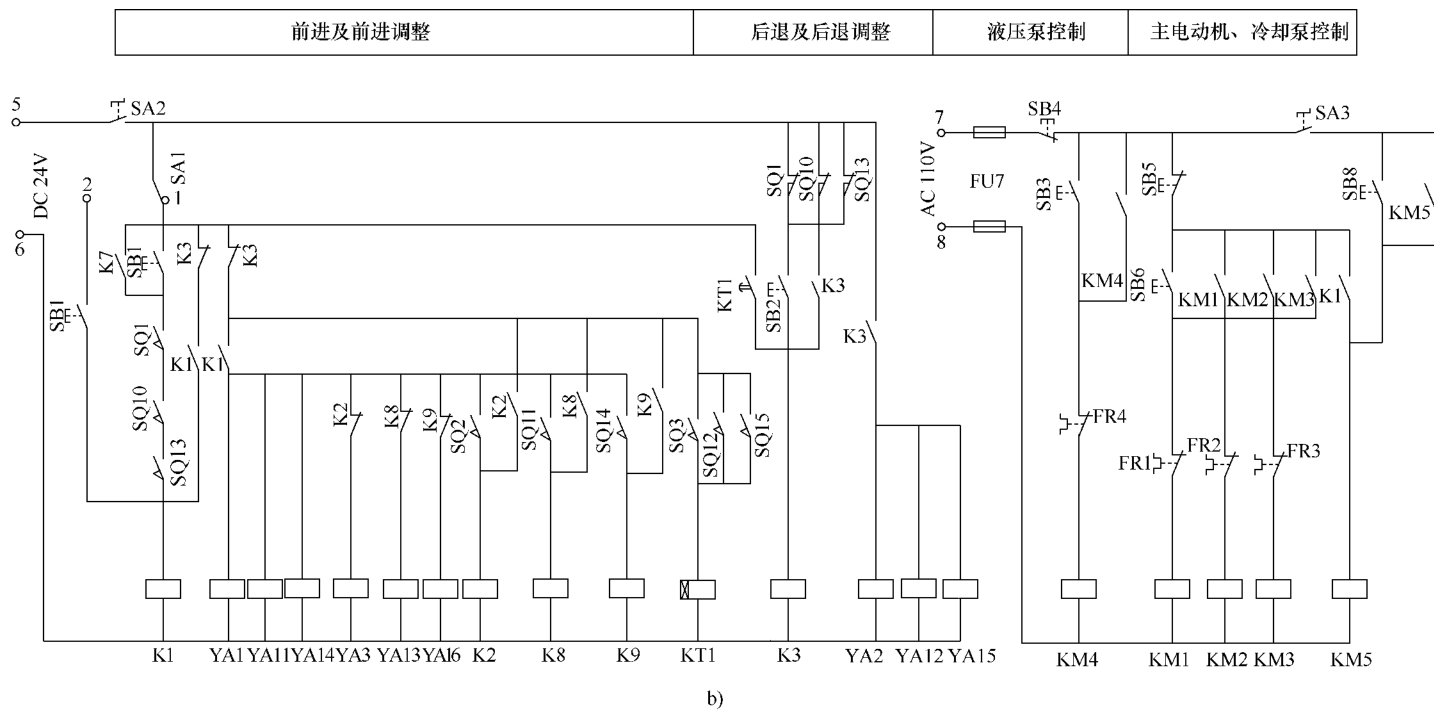


图 9-3 多工位回转工作台组合机床电气原理图



b)

图 9-3　多工位回转工作台组合机床电气原理图（续）

表 9-2　电气元件表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M4	液压泵电动机	M1、M2、M3	钻、扩、铰动力头电动机
M5	冷却泵电动机	SQ1～SQ3	钻削滑台用行程开关
SB1	进给起动按钮	SQ5～SQ9	回转工作台用行程开关
SB2	后退调整按钮	SQ10～SQ12	扩孔滑台用行程开关
SB3	液压泵起动按钮	SQ13～SQ15	铰孔滑台用行程开关
SB4	M4、M5 停止按钮	FR1～FR4	热继电器
SB5	动力头电动机停止按钮	K1～K9	中间继电器
SB6	动力头电动机起动按钮	KM1～KM3	M1、M2、M3 控制用接触器
SB7	回转工作台控制按钮	KM4、KM5	液压泵、冷却泵控制用接触器
SB8	冷却泵起动按钮	C	滤波电容器
SA1	液压滑台用转换开关	YA1～YA3	钻削滑台液压控制用电磁阀电磁铁
SA2	液压滑台总控开关	YA5～YA10	回转工作台液压控制电磁阀电磁铁
SA3	冷却泵控制转换开关	YA11～YA13	扩孔滑台液压控制用电磁阀电磁铁
KT1	通电延时时间继电器	YA14～YA16	铰孔滑台液压控制用电磁阀电磁铁
VC	整流器	FU1～FU8	熔断器
TC	变压器	KP	压力继电器

2. 控制电路分析

(1) 电动机控制

当按下按钮 SB3，接触器 KM4 得电并自锁，液压泵电动机 M4 主电路接通工作，为液压系统提供压力油；当按下按钮 SB4，接触器 KM4 线圈断电，液压泵电动机主电路断开，停止转动。

按下按钮 SB3，接触器 KM1、KM2、KM3 线圈同时得电并自锁，或者是在每个工作循环的快进阶段，当中间继电器 K1 得电时，其常开触点闭合，接触器 KM1、KM2、KM3 自动得电，对应的动力头电动机主电路接通，电动机旋转，同时控制冷却泵的接触器 KM5 得电，为零件加工提供切削液。另外，冷却泵可以用按钮 SB8 控制其起动。

(2) 液压回转工作台回转控制电路

液压回转工作台是靠控制液压系统的油路来实现工作台转位动作的，而液压系统的动作循环是靠电气控制进行的。电气控制元件主要包括电磁换向阀的电磁铁和中间继电器，这些元件的控制电压为直流 24V，需要由 380V 的电源电压经过变压器 TC 和整流器 VC 后才能得到 24V 直流。

回转工作台的转位动作如下：定位销脱开及回转台抬起→回转台回转及缓冲→回转台反靠→回转台夹紧。

图 9-2 是回转工作台的液压系统原理图，回转工作台的转位动作是自动进行

的，下面具体分析它的工作控制过程。

1）定位销脱开及回转台抬起：按下回转按钮 SB7，电磁铁 YA5 通电（动力头在原位时，限位开关 SQ1、SQ10、SQ13 都被压下，回转台才能转位）。将电磁阀 YV1 的阀杆推向右端，液压泵的压力油送到夹紧液压缸 1G，使其活塞上移抬起回转台。同时经电磁阀 YV1 的压力油也送到自锁液压缸 2G，活塞下移使定位销脱开。

2）回转台回转及缓冲：回转台抬起后，压下行程开关 SQ5（SQ5～SQ9 的工作位置），其动合触点闭合使 YA7 通电，电磁阀 YV3 的阀芯被推向右端，压力油送到回转液压缸 3G 的左腔，而右腔排出的油经阀 YV2 和 YV3 流回油箱。因此活塞右移，经活塞中部的齿条带动齿轮，使回转台回转。当转到接近定位点时，转台定位块 1 将滑块 2 压下，从而压动了行程开关 SQ6，其动断触点切断 K5 的通路，其动合触点闭合，由于 SQ5 动合触点闭合，继电器 K4 得电吸合并自锁，YA9 通电，液压缸 3G 的回油只能经节流阀 L 流回油箱。所以回转台变为低速回转，称为缓冲。

3）回转台反靠：回转台的继续回转，使定位块 1 离开滑块 2，限位开关 SQ6 恢复原位，其动断触点恢复闭合，使 K5 得电吸合。K5 动断触点断开使 YA7 断电；同时 K5 动合触点闭合使 YA8 通电，YA8 通电使 YV3 的阀杆左移。压力油经 YV3 和节流阀 L 送至回转液压缸 3G 的右腔，使回转台低速（因 YA9 已通电）反靠。这时，定位块的右端面将通过滑块靠紧在挡铁的左端面上，达到准确定位。

4）回转台夹紧：反向靠紧后，通过杠杆的作用压动限位开关 SQ7，使中间继电器 K6 通电吸合。其动合触点闭合，结果使电磁铁 YA6 通电，YV1 阀杆向左移，夹紧液压缸 1G 将回转台向下压紧在底座上。同时，锁紧液压缸 2G 因已接至回油路，定位销 4 被弹簧顶起，使定位块 1 锁紧。当转台夹紧后，夹紧力达到一定数值，夹紧液压缸的进油压力将使压力继电器 KP 动作，其动合触点使中间继电器 K7 通电吸合，K7 动断触点断开，电磁铁 YA8、YA9 断电，阀 YV3 回到中间位置，这时 3G 的左、右油腔都接至回油路，使回转液压缸卸压。K7 的动合触点闭合，使 YA10 通电（K5 已经得电动作），电磁阀 YV4 阀杆左移，通过液压缸 4G 向上运动，离合器 7 脱开。

5）离合器脱开后的状态：液压缸 4G 的活塞杆压动限位开关 SQ8，其动断触点断开使电磁铁 YA9 断电，其动合触点闭合使电磁铁 YA8 通电，电磁换向阀 YV3 阀杆左移，使回转液压缸活塞退回原位。活塞退回原位后，由于杠杆的作用压动限位开关 SQ9，其动断触点断开，已经动作的电器均被断电。这样电磁铁 YA10 断电使离合器重新接合，以备下次转位循环。因此，液压系统和控制电路都恢复到原始状态。

上述液压回转台控制电路采用的是低压直流电器。这样既操作安全，动作平稳，安装紧凑，又便于采用无触点开关元件，但需要整流电源。当然也可以采用交流电器，它们组成控制电路的工作原理是完全一样的。

（3）液压滑台控制电路

三个液压滑台的自动循环进给过程为快进→工进→快退，但考虑进给速度和进给位移不同，其液压滑台进给液压缸对应的液压系统不采用并联形式，而是分别

控制，同时开始快进动作，某个滑台快进结束位置由对应的行程开关确定。快进终点位置到达了，则能够自动转换成工进，还没有到达快进终点位置的继续快进，然后分别进行工进。到达工进结束位置后，暂停等待其他滑台完成工进，通过调整延时时间，来调整统一返回的时刻。如果各个动力滑台运动距离差别较大，则时间可以调整长一点；如果运动距离相当，则等待时间可以短一些。等待时间到，则统一快速后退。当然，也可以分别设置中间继电器，各个动力滑台在循环开始以后分别自动控制，无需终点等待；谁先到终点，谁先后退，这样控制更加独立，这种方式更有利于工艺差别大、自动循环过程控制各不相同的液压滑台。

由于不同的加工工艺需要，滑台的液压系统和控制过程就有所不同。下面用表 9-3～表 9-5 分别描述各个滑台的动作顺序。

表 9-3　钻削滑台动作顺序表

动作	中间继电器	YA1	YA2	YA3	开关
快进	K1	+	−	+	SB1
工进	K2	+	−	−	SQ2
快退	K3	−	+−	−	SQ3
停止		−	−	−	SQ1

表 9-4　扩孔滑台动作顺序表

动作	中间继电器	YA11	YA12	YA13	开关
快进	K1	+	−	+	SB1
工进	K8	+	−	−	SQ11
快退	K3	−	+−	−	SQ12
停止		−	−	−	SQ10

表 9-5　铰孔滑台动作顺序表

动作	中间继电器	YA14	YA15	YA16	开关
快进	K1	+	−	+	SB1
工进	K9	+	−	−	SQ14
快退	K3	−	+−	−	SQ15
停止		−	−	−	SQ13

1）循环进给工作过程。由于电磁换向阀的电磁铁没有触点，对短信号无自锁能力，因此需要使用中间继电器来拓展触点和工作状态的转换。一般情况下，一个工作状态用一个中间继电器来表示。

将 SA1 置于 2 位置时，系统处于循环工作状态，各个动力滑台在原位，行程开关 SQ1、SQ10、SQ13 被压下，按下起动按钮 SB1，中间继电器 K1 得电并自锁，系统处于快进过程，驱动电磁铁 YA1、YA3、YA11、YA13、YA14、YA16 得电，液压系统工作。

对于钻削滑台,电磁换向阀YV5的阀芯向左移动,电磁阀处于左位,压力油经过电磁阀YV5流入液压缸的左腔,推动活塞向右运动;由于液压缸右腔的压力油经过电磁换向阀YV6流回到液压缸左腔,形成差动,所以活塞前进速度快,此为钻削滑台快进。

对于扩孔滑台,电磁换向阀YV7的阀芯向左移动,电磁阀处于左位,压力油经过电磁阀YV7流入液压缸的左腔,推动活塞向右运动;由于液压缸右腔的压力油经过电磁换向阀YV8流回到液压缸左腔,形成差动,所以活塞前进速度快,此为扩孔滑台快进。

对于铰孔滑台,电磁换向阀YV9的阀芯向左移动,电磁阀处于左位,压力油经过电磁阀YV9流入液压缸的左腔,推动活塞向右运动;由于液压缸右腔的压力油经过电磁换向阀YV10流回到液压缸左腔,形成差动,所以活塞前进速度快,此为铰孔滑台快进。

当钻孔滑台快进到行程开关SQ2位置时,压下SQ2,中间继电器K2得电,YA3断电,液压缸左腔的油通过一个节流阀流回油箱,油的流出速度因为节流阀变慢,进给速度变慢,转换为工进,进行孔的钻削进给加工。

当扩孔滑台快进到行程开关SQ11位置时,压下SQ11,中间继电器K8得电,YA13断电,进给速度变慢,转换为工进,进行扩孔进给加工,进给速度大小可以调节节流阀。

当钻孔滑台快进到行程开关SQ14位置时,压下SQ14,中间继电器K9得电,YA16断电,转换为工进,进行孔的铰孔进给加工。

行程开关SQ2、SQ11、SQ14距离本身起点的距离不同,则转换成工进的时间就有差别,但不会相互影响。

三个滑台先后到达终点,则压下对应的行程开关(钻削滑台压下SQ3、扩孔滑台压下SQ12、铰孔滑台压下SQ15),最先到达终点的滑台会驱动时间继电器KT1延时,以等待另外两个工进结束。当计时时间到时,要保证三个滑台的进给都已经结束,然后接通中间继电器K3,分别驱动电磁铁YA2、YA12、YA15得电,其他电磁铁和中间继电器断电。

对于钻削滑台,电磁换向阀YV5的阀芯右移,压力油经过YV5流入进给液压缸右腔,推动活塞向左运动,滑台带动动力头后退,液压缸左腔的压力油经过YV5直接流进油箱,无节流环节,故速度较快,直到压下行程开关SQ1。

对于扩孔滑台,电磁换向阀YV7的阀芯右移,压力油经过YV7流入进给液压缸右腔,推动活塞向左运动,扩孔动力头快速后退回起点,直到压下行程开关SQ10。

对于铰孔滑台,电磁换向阀YV9的阀芯右移,压力油经过YV9流入进给液压缸右腔,推动活塞向左运动,铰孔动力头快速后退回起点,直到压下行程开关SQ14。

只有当三个滑台都退回到原点,同时压下了三个行程开关SQ1、SQ10、SQ14,其常闭触点断开,中间继电器K3才断电,切断电磁铁YA2、YA12、YA15的电源,

滑台都停止。到此,三个滑台一次自动循环进给结束。

2）机床调整说明。机床回转工作台不需要点动调整,工位位置的确定是通过保证夹具与对应动力头和滑台的相对位置来确定。一旦确定好就不能再调整,所以只需要调整动力头及滑台的位置。

将转换开关 SA1 置于位置 2,按下按钮 SB1,中间继电器 K1 线圈得电,但不能自锁,K1 的常开触点闭合,驱动电磁铁 YA1、YA11、YA14 线圈得电,三个液压滑台的液压缸左腔流入压力油,活塞杆推动动力头前进,以便进行行程开关位置的调整;如果在中间任何位置将按钮 SB1 松开,则 K1 线圈断电,其常开触点断开,刚接通的电磁铁线圈断电,三个液压滑台停止前进;如果要让液压滑台返回到循环的起点位置,则应按下按钮 SB2。由于三个液压滑台不在起点位置,起点行程开关 SQ1、SQ10、SQ14 常闭触点闭合,所以中间继电器 K3 得电并自锁,K3 驱动电磁铁 YA2、YA12、YA15 线圈得电,使液压系统驱动三个滑台快速后退,直到到达循环起点,三个行程开关 SQ1、SQ10、SQ14 都被压下,其常闭触点都断开,使中间继电器 K3 线圈断电,后退运动才停止。这种位置的调整控制对于液压滑台来讲是必需的。

3）零件夹紧控制说明。工件的夹紧装置仍然采用液压夹紧,由液压泵电动机 M4 提供压力油,经过电磁换向阀流入夹紧液压缸中。但为了简化控制电路和操作方便,液压换向阀不采用电磁式,而采用手动式控制换向阀,通过扳动手柄来控制液流方向,每个工位上的工件都采用一个手动式换向阀。当回转工作台转到装卸工位时,扳动控制手柄,液压缸动作,松开工件,将工件取出,安装上未加工的工件,又按相反的方向扳动手柄,夹紧工件,此时其他工位上的工件仍然是夹紧状态。

9.2　多工位组合机床的 PLC 控制设计

9.2.1　PLC 的电路设计

1. PLC 选择设计思路

PLC 具有可靠性高,抗干扰能力强,系统组合灵活方便,编程语言简单易懂,对生产工艺适应性强等优点。多工位回转工作台组合机床由于控制内容多,自动化程度要求较高,其继电器控制系统接线复杂,故障率较高,可靠性较差。应用 PLC 对其进行技术改造,可以把机械加工设备的功能、效率、柔性提高到一个新的水平,有利于提高产品的加工质量、生产效率,降低设备故障率,其经济效率显著。

在保持液压系统、动力头、夹紧装置以及电气元件型号参数不变的情况下,利用 FX2N 系列 PLC 来完成控制,经过统计和分配输入、输出元件端口,需要输入点数为 25 点,输出点数为 19 点;考虑指示灯和其他因素,选择总点数为 64 的 FX2N-64MR 可以满足要求。

电源类型有:PLC 需要交流 220V,接触器线圈需要交流 110V,电磁铁为直流 24V。

去掉了所有在继电器控制系统中的中间继电器和时间继电器，热继电器常闭触点直接连接到对应的接触器线圈回路，其他都选择常开触点，大大简化了连接线路。液压系统不变，如图9-2所示，液压系统的动作顺序同前。电气原理图如图9-4所示。

2. 低压电气元件端口分配

将继电器控制电路中的按钮、转换开关、行程开关、压力继电器触点等开关元件与PLC的输入端口相连接，作为PLC的输入信号；将继电器控制系统的接触器线圈、电磁换向阀的电磁铁线圈、离合器线圈等与PLC的输出端口相连接，每一个线圈构成一个负载回路，输出继电器相当于一个开关触点，由程序控制触点的闭合与断开，从而驱动负载工作。元件分配情况见表9-6。

表9-6 低压电气元件表与逻辑元件

电气元件	逻辑元件	作　用	电气元件	逻辑元件	作　用
SB1	X0	进给起动按钮	SQ14	X27	铰孔滑台快进到位
SB2	X1	后退调整按钮	SQ15	X30	铰孔滑台工进到位
SB3	X2	液压泵起动按钮	KP	X31	回转台压力继电器
SB4	X3	液压泵、冷却泵停止按钮	KM1	Y0	钻削动力头控制
SB5	X4	动力头电动机停止按钮	KM2	Y1	扩孔动力头控制
SB6	X5	动力头电动机起动按钮	KM3	Y2	铰孔动力头控制
SB7	X6	回转工作台转动控制按钮	KM4	Y3	液压泵控制用接触器
SB8	X7	冷却泵起动按钮	KM5	Y4	冷却泵控制用接触器
SA1	X10	液压滑台自动与点动用转换开关	YA1	Y5	钻削滑台前进用电磁铁
SA2	X11	液压滑台总控开关	YA2	Y6	钻削滑台快进用电磁铁
SA3	X12	冷却泵控制用转换开关	YA3	Y7	钻削滑台后退用电磁铁
SQ1	X13	钻削滑台原位	YA5	Y10	回转台微抬
SQ2	X14	钻削滑台快进到位	YA6	Y11	回转台夹紧
SQ3	X15	钻削滑台工进到位	YA7	Y12	回转台回转
SQ5	X16	微抬到位	YA8	Y13	回转台返回
SQ6	X17	回转到位	YA9	Y14	低速回转
SQ7	X20	回转台反靠	YA10	Y15	离合器脱开
SQ8	X21	离合器脱开	YA11	Y16	扩孔滑台前进用电磁铁
SQ9	X22	回转缸原位行程开关	YA12	Y17	扩孔滑台快进用电磁铁
SQ10	X23	扩孔滑台原位	YA13	Y20	扩孔滑台后退用电磁铁
SQ11	X24	扩孔滑台快进到位	YA14	Y21	铰孔滑台前进用电磁铁
SQ12	X25	扩孔滑台工进到位	YA15	Y22	铰孔滑台快进用电磁铁
SQ13	X26	铰孔滑台原位	YA16	Y23	铰孔滑台后退用电磁铁

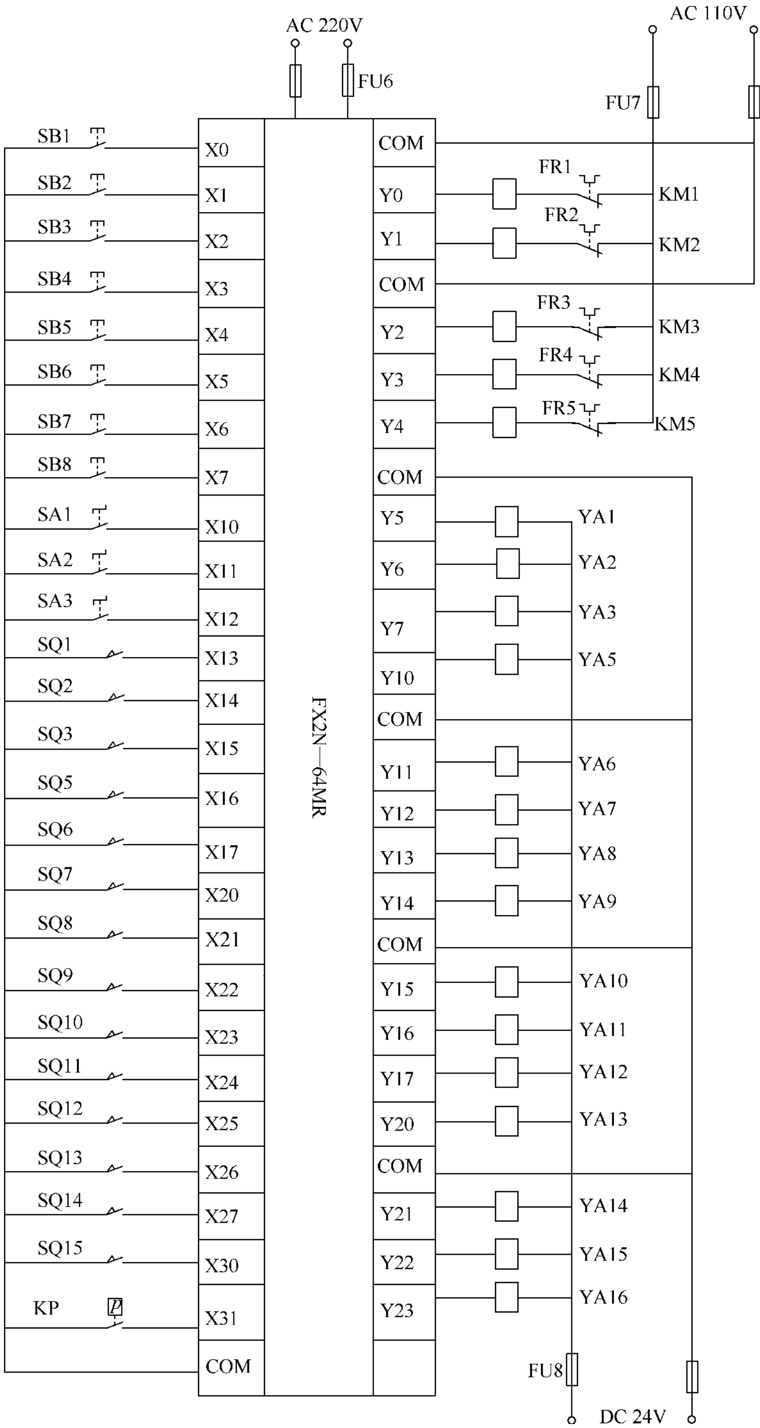


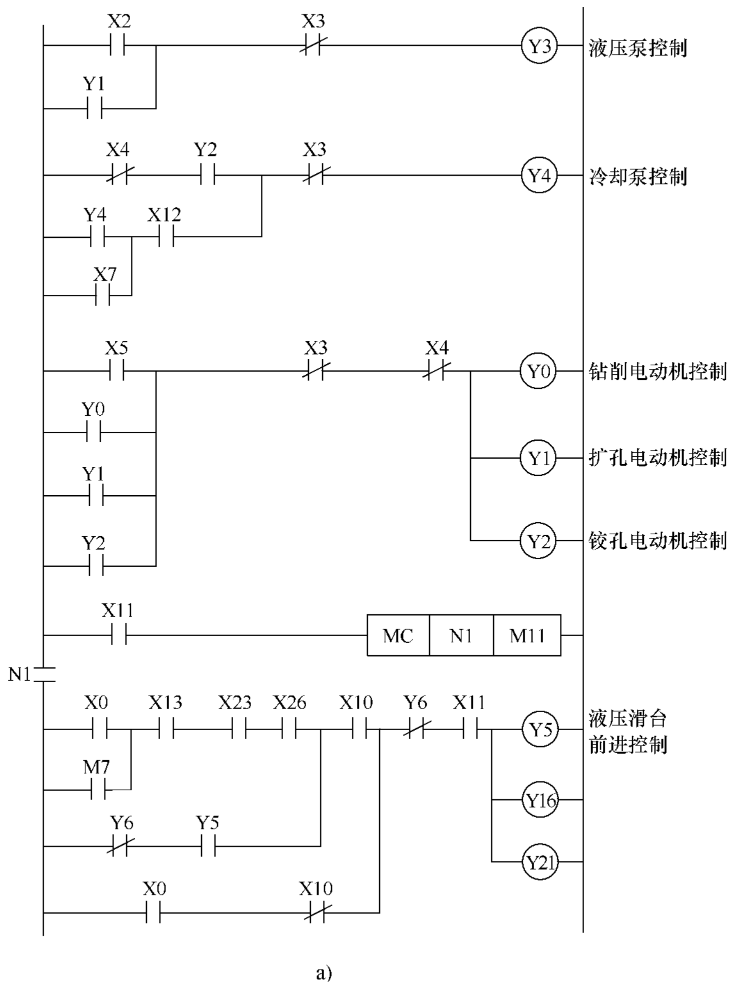
图 9-4　PLC 控制多工位回转工作台组合机床电气原理图

9.2.2 PLC 控制程序设计与说明

梯形图控制说明分为电动机控制程序、液压滑台进给控制程序及回转工作台控制程序三个部分，如图 9-5 所示。

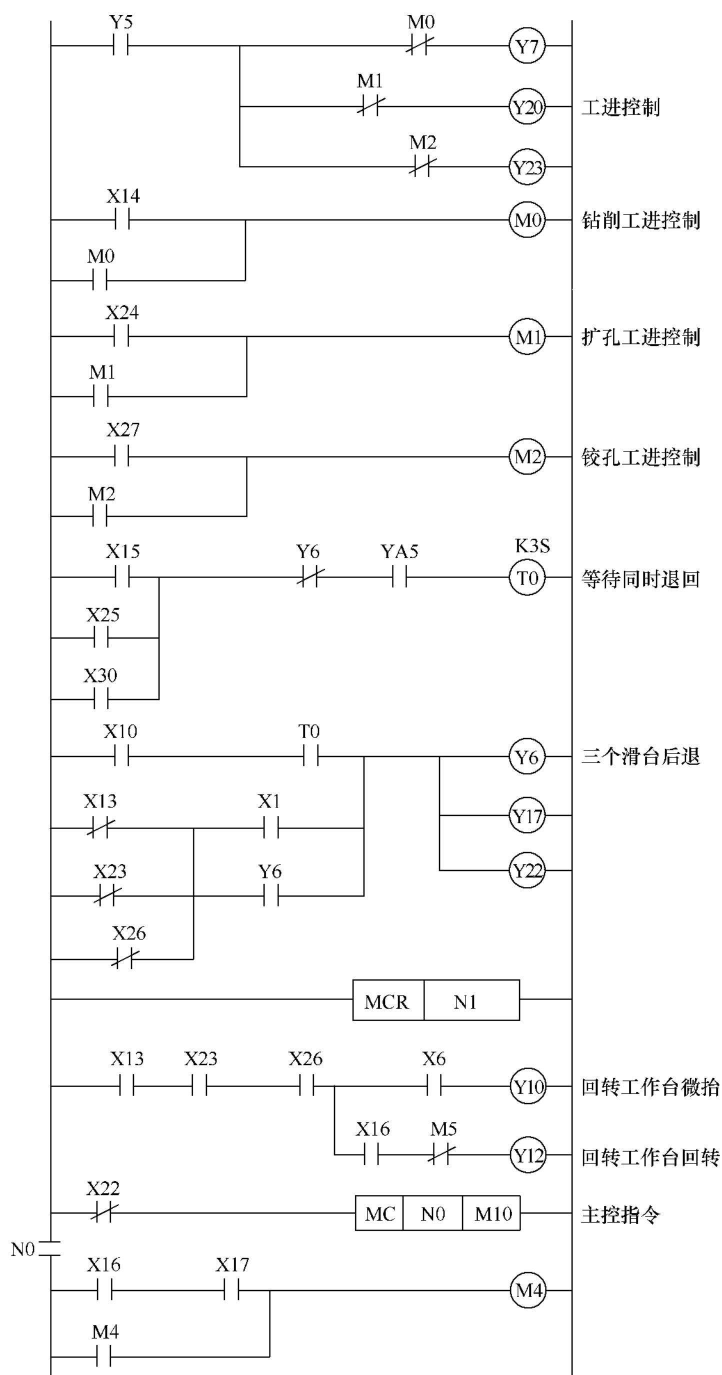
（1）主电动机起停控制

液压泵的起停控制：按下按钮 SB3→输入继电器 X2 为 ON→输出继电器 Y3 线圈逻辑回路接通→接触器 KM4 线圈得电并自锁→液压泵电动机 M4 主电路接通，为液压系统提供压力油。按下按钮 SB4→输入继电器 X3 为 ON→X3 的常闭触点断开→Y3 线圈逻辑回路断开→接触器 KM4 线圈断电→液压泵电动机停止转动。以上为液压泵的起停控制。



a)

图 9-5 PLC 控制多工位回转工作台组合机床梯形图



b)

图 9-5　PLC 控制多工位回转工作台组合机床梯形图(续)

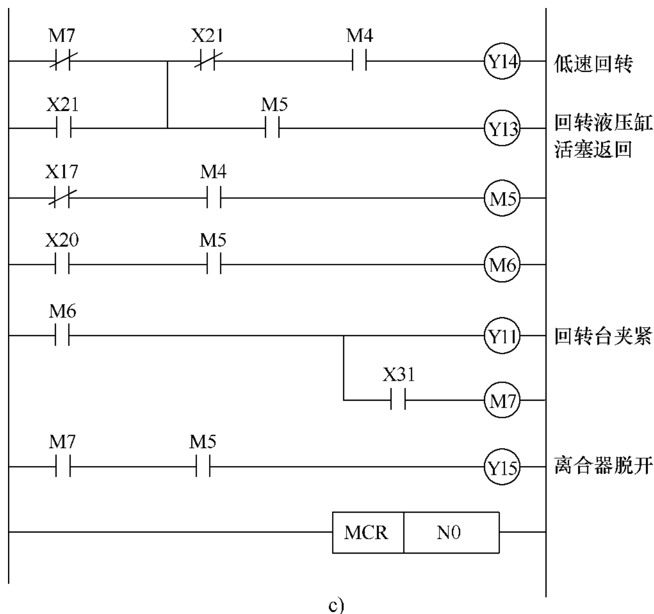


图 9-5 PLC 控制多工位回转工作台组合机床梯形图(续)

动力头电动机的起停控制:按下按钮 SB6→输入继电器 X5 为 ON→输出继电器 Y0、Y1、Y2 线圈逻辑回路接通→接触器 KM1、KM2、KM3 线圈得电并自锁→三个动力头电动机 M1、M2、M3 转动。

按下按钮 SB5 或 SB4→输入继电器 X4、X3 为 ON→X4、X3 的常闭触点断开→输入继电器 Y0、Y1、Y2 线圈逻辑回路断开→接触器 KM1、KM2、KM3 线圈断电→动力头停止转动。

设计时,也可以考虑在液压滑台退回到循环起点时自动停止。

冷却泵电动机的控制:对于冷却泵,既可以用按钮 SB8 控制,也可以用自动循环过程的主电动机工作状态或者进给过程的某个状态标志来控制。本例选择主电动机工作状态标志元件 Y2(输出继电器)控制接触器 KM3 来实现。将 SA3 闭合→输入继电器 X12 为 ON→按下按钮 SB8→输入继电器 X7 为 ON→输出继电器 Y4 线圈逻辑回路导通→接触器 KM5 线圈电路闭合→冷却泵工作。如果 SA3 断开,则当系统处于自动循环过程时,只要输出继电器 Y2 为 ON,即表示铰孔电动机工作,输出继电器 Y4 回路导通,冷却泵即可转动,操作者不需要操作按钮就可以自动完成冷却泵的开关控制。

(2) 液压滑台的控制

为了能够实现回转工作台与液压滑台的分开调整和循环过程的自动衔接控

制，设置有一个主控元件 M11，当转换开关 SA2 断开，输入继电器 X11 为 ON，接通主控元件 M11，液压滑台才能工作。当转换开关 SA2 断开，输入继电器 X11 为 OFF，则液压滑台的相关电磁换向阀的电磁铁所对应的输出继电器线圈逻辑回路无法导通，滑台不能工作。这时，可以单独控制回转工作台的转动。

当 SA2 闭合后，将转换开关 SA1 闭合→输入继电器 X10 为 ON→液压滑台为自动循环工作状态→按下按钮 SB1→输入继电器 X0 为 ON→由于三个滑台都在循环的起点(行程开关 SQ1、SQ10、SQ13 被压下)→输入继电器 X13、X23、X26 为 ON→输出继电器 Y5、Y7、Y16、Y20、Y21、Y23 的逻辑回路导通→驱动电磁铁 YA1、YA3、YA11、YA13、YA16、YA14 负载回路接通→三个液压滑台的液压缸作快进运动。每一次循环开始是从工作台完成一次工位转换后开始的，工位转换结束，回转工作台定位夹紧后，辅助继电器 M7 为 ON，与 X10 并联，与按下按钮 SB1 的作用相同，从而开始自动工作循环。

当三个动力头快进到位后，分别压下对应的行程开关 SQ2、SQ11、SQ14→输入继电器 X14、X24、X27 为 ON→驱动辅助继电器 M0、M1、M2 逻辑回路闭合，并自锁→切断输出继电器 Y7、Y20、Y23 逻辑回路→电磁铁 YA3、YA13、YA16 断电→只有 YA1、YA11、YA14 接通→三个液压滑台的液压缸分别作工进运动。这里通过分别设置辅助继电器 M0、M1、M2，有利于根据行程开关的不同位置分别控制。

当滑台工进到达终点时，分别压下行程开关 SQ3、SQ12、SQ15→输入继电器 X15、X25、X30 分别为 ON→驱动计时器 T0 计时→等待三个滑台都到达终点，以便同时后退→定时时间到，T0 常开触点闭合→驱动输出继电器 Y6、Y17、Y22 逻辑回路导通得电，并自锁→电磁铁 YA15、YA12、YA2 同时得电→接通快退液压回路→三滑台同时快退→当三个滑台都退回到起点位置时，SQ1、SQ10、SQ13 都被压下→输入继电器 X13、X23、X26 为 ON→其常闭触点为 OFF→输出继电器 Y6、Y17、Y22 断开→电磁铁 YA15、YA12、YA2 同时断电→快退结束。为回转工作台的自动回转，实现工位的自动转换做好准备。在快退逻辑回路中，也可以通过按下按钮 SB2 来控制液压滑台后退。

(3) 回转工作台的回转控制

当三个动力头循环结束都停留在起点位置时，SQ1、SQ10、SQ13 都被压下，输入继电器 X13、X23、X26 为 ON，为回转工作台回转作好了准备。按下按钮 SB7→输入继电器 X6 为 ON→输出继电器 Y10 线圈逻辑回路导通得电→电磁铁 YA5 线圈电路接通→液压系统驱动回转工作台抬起→压下行程开关 SQ5→输入继电器 X16 为 ON→输出继电器 Y12 线圈得电→电磁铁 YA7 得电→液压系统驱动液压缸 3G 移动→工作台回转→回转以后的控制受到主控元件 X22 的常闭触点控制，如果 SQ9 断开，则 X22 的常闭触点为 ON，后面的程序可以执行，反之，则不能

执行后面的程序。其作用是当行程开关 SQ9 被压下，表示回转结束，当然就不需执行后面的程序了。

在正常回转后，SQ9 还没有被压下，回转到下一个分度位置前后，压下行程开关 SQ6→输入继电器 X17 为 ON→辅助继电器 M4 得电并自锁→输出继电器 Y14 线圈回路导通得电→电磁铁 YA9 得电→液压系统驱动 3G 减速移动→回转工作台低速转动→继续回转→行程开关 SQ6 松开→输入继电器 X17 断电为 OFF→X17 触点取反后为 ON，驱动辅助继电器 M5 回路导通→输出继电器 Y13 逻辑回路导通→电磁铁 YA8 得电→液压缸 3G 左移返回→带动回转工作台反靠→反靠到位，压下行程开关 SQ7→输入继电器 X20 得电为 ON→辅助继电器 M6 线圈得电→M6 的常开触点使输出继电器 Y11 线圈电路导通得电→负载电磁铁 YA6 得电→液压缸 1G 动作，夹紧工作台→夹紧压力逐步增加，超过一定值→压力继电器 KP 常开触点闭合→输入继电器 X31 为 ON→辅助继电器 M7 线圈得电→M7 的常开触点驱动输出继电器 Y15 线圈回路闭合→电磁铁 YA10 得电→液压系统使液压缸 4G 动作→带动离合器脱开。另外，M7 也驱动三个液压滑台的液压控制回路工作，进给循环开始。

为了下一次能够继续自动回转，液压缸 3G 必须回到左端，所以离合器脱开以后，压下行程开关 SQ8→输入继电器 X21 得电为 ON→X21 的常闭触点使得 Y14 断开，电磁铁 YA9 断电→X21 的常开触点使 Y13 逻辑回路接通→液压系统驱动液压缸 3G 左移→当压下行程开关 SQ9 后→输入继电器 X22 得电→X22 的常闭触点为 OFF，主控条件不再满足，所有逻辑元件以及电磁铁 YA6、YA8、YA9、YA10 都断电。一次自动转位控制结束。

第 10 章　钻锪组合机床控制系统

10.1　钻锪组合机床的继电器控制设计

10.1.1　钻锪组合机床的工艺特点

1. 沉头孔加工的特点

沉头孔和带有凸台的孔在大批量生产时，采用组合机床加工，刀具为复合麻花钻，加工示意图如图 10-1 所示。一般情况下，先利用钻头部分钻削出整个孔，然后利用后面的锪钻加工沉头部分。由于钻孔时，孔的结构尺寸小，切削力小，所以进给速度要快一些；而在加工沉头部分时，结构尺寸大，切削力大，要保证切削质量，进给速度要小一些，因此在进给加工过程中，需要采用不同的进给速度，先后分别加工孔和沉头部分。为了达到要求，组合机床的液压系统驱动滑台需要能够实现两种工作进给速度。

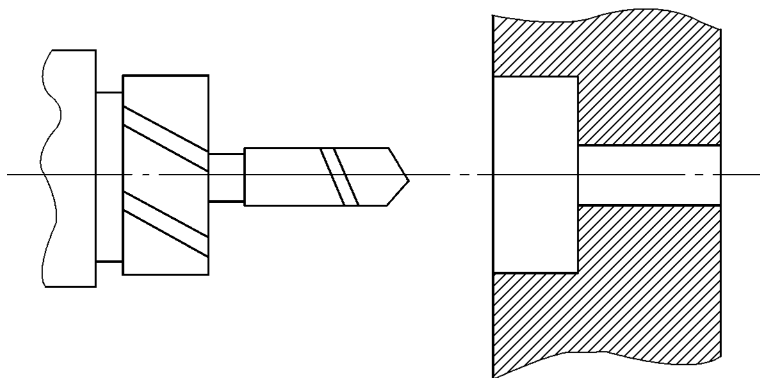


图 10-1　工件加工示意图

2. 控制过程

滑台运动控制具体过程如图 10-2 所示，滑台从原位 SQ1 开始，按下起动按钮→滑台带动刀具快进→当进给挡块压下行程开关 SQ2→滑台以钻削加工（一次工进）→进给加工到行程开关 SQ3 位置时→滑台转换成锪孔（二次工进）→当进给挡块压下行程开关 SQ4→滑台停止进给，刀具继续转动加工，负责把沉头孔底部加工完整→延时→快退到 SQ1。一次加工循环过程结束。

另外，工件需要自动夹紧和松开，效率要高；主电动机不需要正、反转和制动，只需要起动和停止控制。

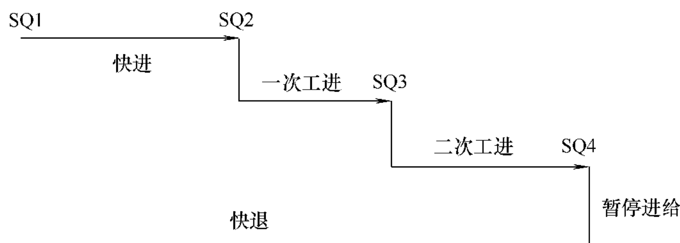


图 10-2　滑台运动控制具体过程

10.1.2　二次进给组合机床的液压系统说明

二次进给液压系统图如图 10-3 所示。

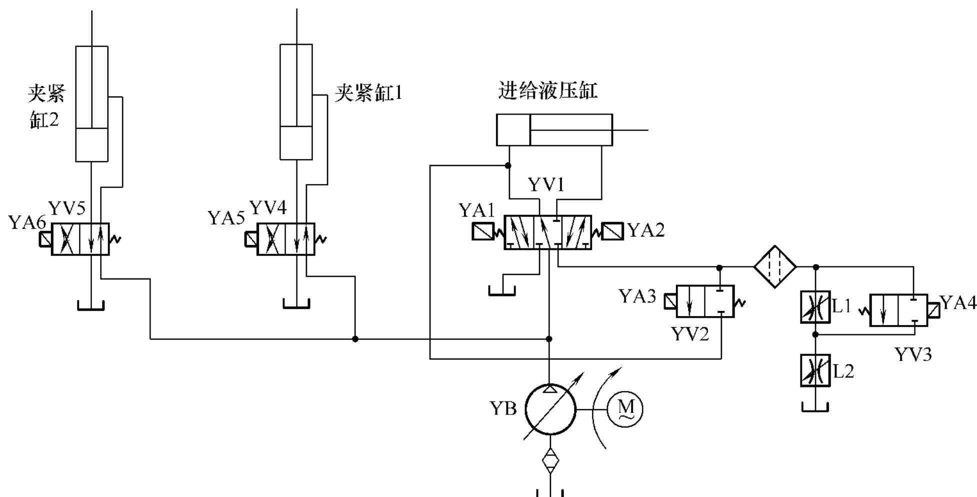


图 10-3　二次进给液压系统图

为了满足滑台工作循环要求以及实现工作状态转换，在液压系统中采用三个电磁换向阀组合成符合滑台循环工作的三种状态：三位五通阀 YV1，负责进给液压缸的油路转换；二位二通电磁阀 YV2，负责快速进给油路的转换；二位二通电磁阀 YV3，负责工作进给油路的转换。

在组合机床中，为了提高效率，其专用夹具需要液压系统对工件进行夹紧，然后才能加工，加工完毕后，又需要松开夹紧机构，以便取下工件，所以需要在液压系统中设计油路为夹紧机构提供压力油。本例由电磁换向阀 YV4、YV5 完成夹紧油路的转换。下面分别介绍其工作状态，为电气控制提供依据。

（1）滑台快进状态

滑台快进时，液压系统中的三位五通换向阀 YV1 和二位二通换向阀 YV2 的

左边电磁铁需要得电，导通状态为图 10-3 左边所示的油路。进油路：液压泵→YV1 左位→液压缸左边无杆腔。向左腔提供压力油，推动活塞杆向右移动。回油路：液压缸有杆腔→YV1 左位→YV2 左位→液压缸无杆腔。

由于进入左腔的油既有来自液压泵的压力油，又有来自液压缸右腔的回油，形成了差动连接，所以活塞快速向右移动，带动滑台快速前进。

(2) 滑台一次工进

根据加工要求，滑台快进到距离工件待加工表面一定距离时，应该以切削进给速度前进，称为工进；滑台工作进给时活塞杆进给方向与快进相同，由于第一次工作进给时是为了钻孔，进给速度快一点，此时的进油路：液压泵→YV1 左位→液压缸左边无杆腔。向左腔提供压力油，推动活塞杆继续向右移动。回油路：液压缸有杆腔→YV1 左位→滤油器→YV3 左位→调速阀 L2→油箱。

由于回油路中接入了调速阀，形成出口节流调速回路，使滑台处于慢速移动的工作状态。

(3) 滑台二次工进

当滑台以钻削进给速度完成了通孔的钻削后，接着由锪钻完成沉头孔的加工，此时的进给速度应该更低，所以又需要转换油路，其他不变，只需要 YV3 处于右位，将节流阀 L1、L2 都接入回油路即可。由于回油路中增加了节流环节，使回油速度更慢，滑台移动更慢。

(4) 滑台快退状态

当滑台二次工进结束后，为了节约辅助时间，以便尽快取下工件，需要滑台快速退回。此时滑台的移动方向发生了改变，进入液压缸的液流方向也需要改变。电磁换向阀 YV1 的右边电磁铁得电，导通状态如图 10-3 右位所示，则进油路：液压泵→YV1 右位→液压缸右腔，推动活塞杆向左边移动。回油路：液压缸左腔→YV1 右位→油箱。由于回油路无节流阀，故移动速度快。

(5) 工件的夹紧与松开

在滑台带动动力头快进之前，需要夹紧工件。由夹紧缸 1 和夹紧缸 2 来完成。电磁换向阀 YV4、YV5 都处于左位。进油路：液压泵→YV4、YV5 左位→夹紧缸下腔，推动活塞杆向上移动。回油路：夹紧缸上腔→YV4、YV5 左位→油箱，实现工件的自动夹紧。不同大小的工件夹紧位置不同，夹紧需要的液压缸也有差别。

当工件加工完毕，滑台退回到原位后，应该松开工件，此时的电磁换向阀 YV4、YV5 在右，电磁铁断电。进油路：液压泵→YV4、YV5 右位→夹紧缸上腔，推动活塞杆向下移动。回油路：夹紧缸下腔→ YV4、YV5 右位→油箱，实现工件的自动松开。

结合控制要求和控制过程，可以确定控制电路在每个状态的控制目标，经过对前面液压系统工作状态的分析，各个电磁换向阀的电磁铁的得电和断电组合为：

工件夹紧：YA5、YA6 得电。

滑台快进：电磁铁 YA1、YA3 得电，YA2、YA4 断电。

滑台一次工进：电磁铁 YA1、YA4 得电，YA2、YA3 断电。

滑台二次工进：电磁铁 YA1 得电，YA2、YA3、YA4 断电。

滑台快退：电磁铁 YA2 得电，YA1、YA3、YA4 断电。

为了表达更加清楚，各个元件的动作可以用表 10-1 顺序表表示。

表 10-1　元件动作顺序表

动作	中间继电器	YA1	YA2	YA3	YA4	转换开关
快进	K1	＋	－	＋	－	SB1
工进 1	K2	＋	－	－	－	SQ2
工进 2	K3	＋	－	－	＋	SQ3
快退	K4	－	＋	－	－	SQ4
停止		－	－	－	－	SQ1

10.1.3　电路控制设计与说明

根据钻锪加工的工艺要求和液压滑台组合机床的控制需要，设计得到钻锪组合机床的电气控制原理图，如图 10-4 所示，其电气元件见表 10-2。

（1）起动主电动机、液压泵，液压夹紧

按下按钮 SB6，接触器 KM1 线圈得电并自锁，其主触点闭合，动力头主电动机起动，在液压滑台的带动下进给切削加工。当按下停止按钮 SB5 时，接触器 KM1 线圈断电，动力头电动机停止。

表 10-2　低压电气元件表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	动力头主电动机	K1～K5	中间继电器
M2	液压泵电动机	KM1、KM2	接触器
SB1	进给起动按钮	SQ1～SQ4	行程开关
SB2	后退调整按钮	YA1～YA4	液压滑台用电磁铁
SB3、SB4	液压泵起停按钮	YA5、YA6	液压夹紧用电磁铁
SB5、SB6	主电动机起停按钮	VC	整流器
SB7、SB8	工件夹紧、松开按钮	TC	变压器
SA1	转换开关	KT1	通电延时时间继电器
FR1、FR2	热继电器	—	—

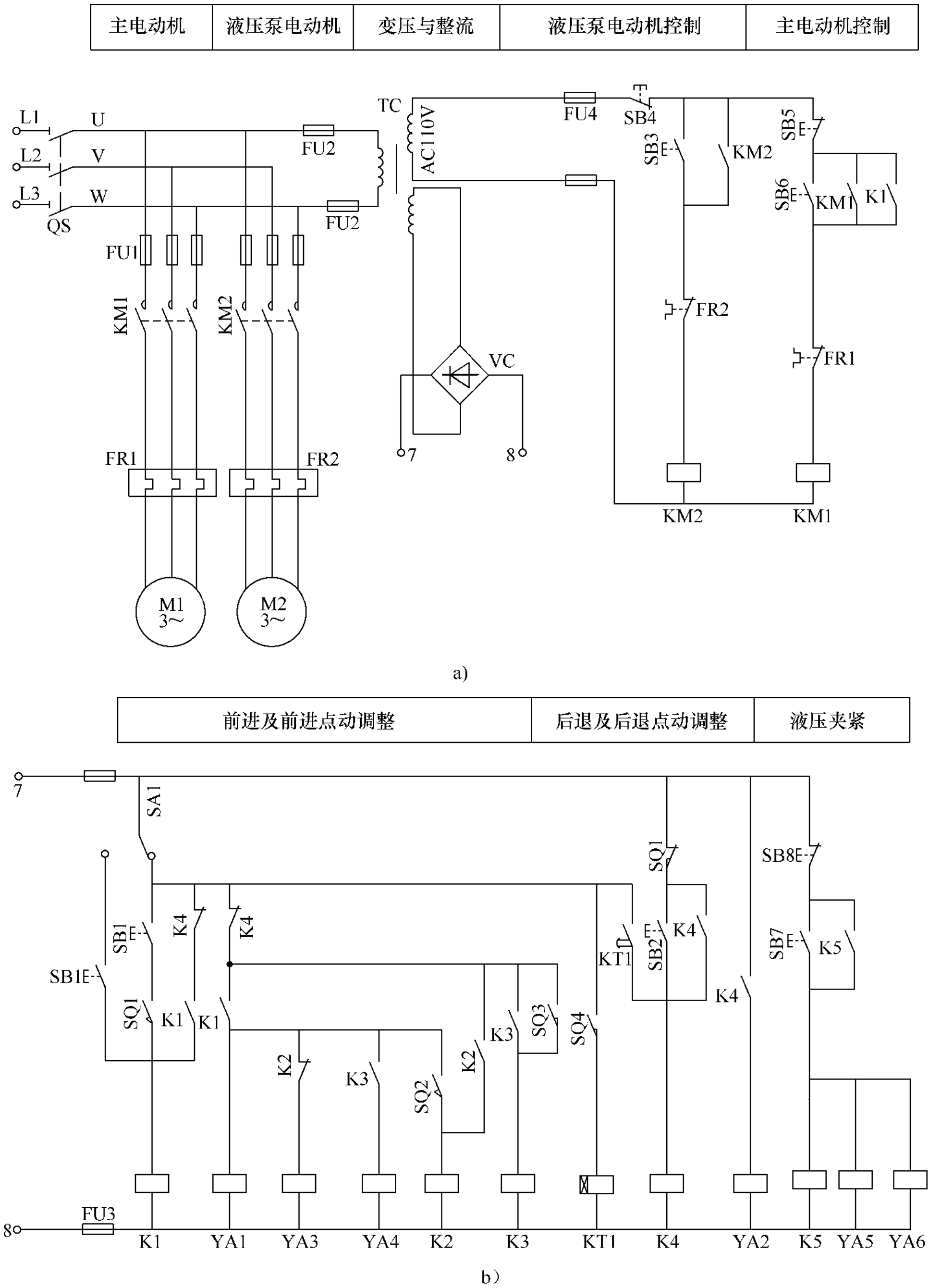


图 10-4　二次进给控制组合机床电气原理图

按下按钮SB3，接触器KM2得电并自锁，其主触点闭合，液压泵（三相异步电动机）主电路接通，液压泵起动，为液压系统提供压力油。需要停止液压泵时，按下停止按钮SB4，接触器KM2断电，接触器主触点断开，电动机停止。

按下按钮SB7，中间继电器K5得电并自锁，驱动换向电磁阀的电磁铁YA5、YA6得电，夹紧液压回路导通，夹紧液压缸动作，夹紧工件。当按下停止按钮SB8时，K5和电磁铁YA5、YA6断电，夹紧液压缸向下运动松开工件。

（2）循环进给工作过程

由于电磁换向阀的电磁铁没有触点，对短信号无自锁能力，因此需要使用中间继电器来拓展触点和工作状态的转换。一般情况下，一个工作状态用一个中间继电器来表示。

将SA1置于2位置时，系统处于循环工作状态，行程开关SQ1被压下，按下起动按钮SB1，中间继电器K1得电并自锁，驱动电磁铁YA1、YA3得电，液压系统工作，压力油流入到进给液压缸中。由于进入液压缸左腔的油除了液压泵的以外，还有右腔的油，所以液压滑台带动动力头作快速前进。

当滑台快进到行程开关SQ2位置时，压下SQ2，中间继电器K2得电，电磁铁YA3断电，液压缸左腔的油通过一个节流阀流回油箱，油的流出速度因为节流阀变慢，进给速度变慢，转换为第一次工进，进行孔的钻削进给加工。

当滑台到达SQ3时，K3得电，YA4得电，电磁换向阀使得液压缸中的油需要经过两级节流阀节流才能流回油箱，液流方向不变，滑台带动动力头进行二次工作进给，进行沉头孔的锪削加工，其进给速度一般要低于钻孔进给速度。当工件进给到SQ4位置时，通电延时时间继电器KT1线圈得电，由于在锪孔终点位置处，液压滑台受到固定挡铁的限制，所以无法再前进，只能停留在终点位置，动力头继续带动刀具旋转加工沉头孔底部平面。当计时时间到，时间继电器KT1的延时闭合常开触点闭合，中间继电器K4线圈得电并自锁，驱动电磁铁YA2得电，驱动电气元件K1、K2、K3、YA1、YA3、YA4线圈断电，液压系统改变了进给液压缸的运动方向和速度，快速后退，带动液压滑台快速后退。当后退到SQ1位置时，K4断电，YA2断电，液压泵输出的压力油经过电磁阀YV1的中位流回油箱，实现卸荷，结束一次工作循环。

（3）机床调整

在安装机床、调试刀具时，需要对液压滑台进行点动调整。SA1拨到1的位置，按下按钮SB1，中间继电器K1得电，但不能自锁，电磁铁YA1、YA3得电，点动前进；当松开按钮SB1时，电磁铁YA1、YA3立即断电，前进停止。

按钮SB2是快速复位按钮，当调整过程中使滑台前移离开原位，或者在工作

过程中突然停电,使动力滑台不停在原位,在这种情况下,若要开始自动循环工作,但由于循环工作的起始条件不满足而无法进行,此时可通过按下按钮 SB2,K4 得电,YA2 得电,液压滑台就能够快速后退到循环的起始位置。

10.2　钻锪组合机床的 PLC 控制设计

10.2.1　PLC 的电路设计

在保持液压系统、动力头、夹紧装置以及电气元件型号参数不变的情况下,利用 FX1N 系列 PLC 来完成控制,经过统计和分配输入、输出元件端口,需要输入点数为 15 点,输出点数为 8 点;考虑指示灯等其他因素,选择总点数为 40 的 FX1N—40MR 可以满足要求。电源类型有:PLC 需要交流 220V,接触器线圈需要交流 110V,电磁铁为直流 24V。去掉了在继电器控制系统中的所有中间继电器和时间继电器,并且输入触点除了热继电器触点为常闭外,其他都选择常开触点,大大简化了连接电路。电气原理图如图 10-5 所示,PLC 的逻辑元件分配表见表 10-3。

表 10-3　PLC 逻辑元件分配表

电气元件	逻辑元件	作　　用	电气元件	逻辑元件	作　　用
SB1	X0	进给起动按钮	SA1	X14	自动与点动转换开关
SB2	X1	后退调整按钮	FR1	X15	热继电器
SB3	X2	液压泵起动按钮	FR2	X16	热继电器
SB4	X3	液压泵停止按钮	KM1	Y0	动力头电动机接触器
SB5	X4	主电动机停止按钮	KM2	Y1	液压泵接触器
SB6	X5	主电动机起动按钮	YA1	Y2	前进电磁阀电磁铁
SB7	X6	工件夹紧按钮	YA2	Y3	后退电磁阀电磁铁
SB8	X7	工件松开按钮	YA3	Y4	工进电磁阀电磁铁
SQ1	X10	原位行程开关	YA4	Y5	工进电磁阀电磁铁
SQ2	X11	快进终点行程开关	YA5	Y6	液压夹紧电磁铁
SQ3	X12	钻削终点行程开关	YA6	Y7	液压夹紧电磁铁
SQ4	X13	锪孔终点行程开关	KT1	T0	延时停留用时间继电器

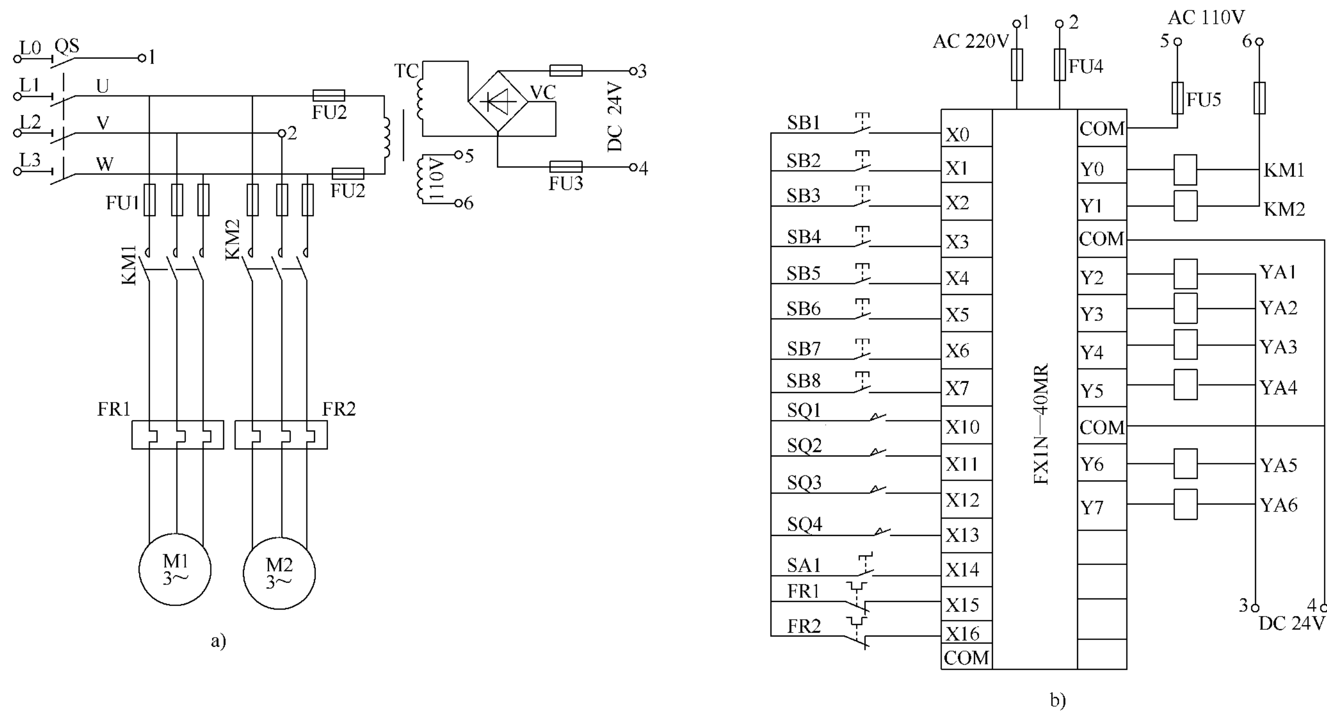
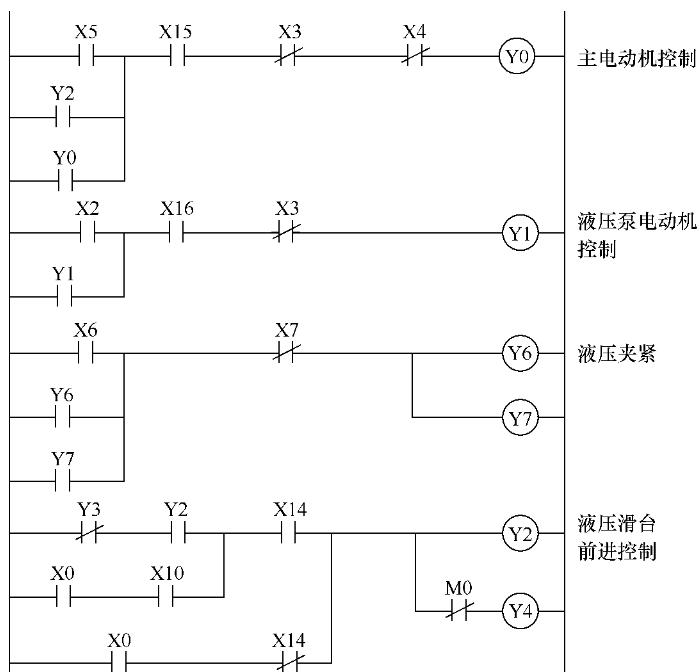


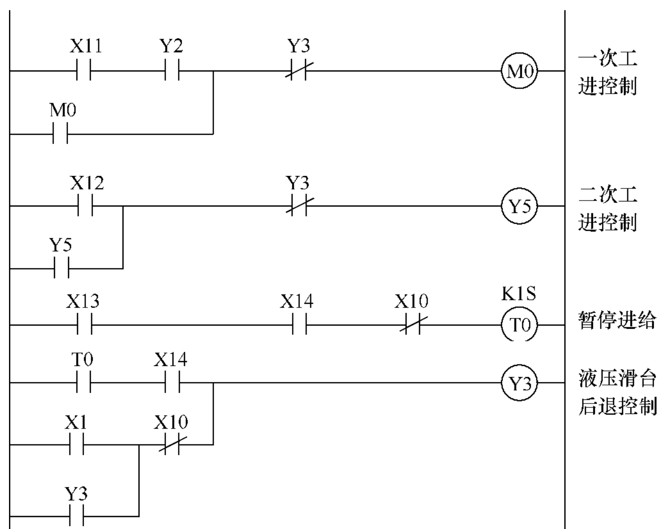
图10-5 PLC控制电气原理图

10.2.2　PLC 控制程序设计与说明

PLC 控制钻锪组合机床梯形图如图 10-6 所示。



a)



b)

图 10-6　PLC 控制钻锪组合机床梯形图

（1）主电动机起停控制

按下按钮SB6，则输入继电器X5为ON，热继电器FR1常闭触点闭合，输出继电器Y0逻辑回路导通并自锁，Y0得电为ON，驱动接触器KM1线圈回路闭合，KM1得电，动力头电动机主电路接通，带动刀具旋转。另外，假设没有按下SB6，液压滑台就开始在液压系统带动下前进，为了避免碰坏刀具，这时输出继电器Y2触点自动起动输出继电器Y0，让刀具转动起来。

按下按钮SB4或SB5，输入继电器X3、X4为ON，取反后其常闭触点为OFF，切断Y0的逻辑回路，Y0断电，KM1断电，电动机停止。

（2）液压泵电动机的起动

按下按钮SB3，输入继电器X2为ON，输出继电器Y1的逻辑回路导通，Y1线圈得电并自锁，驱动接触器KM2线圈电路闭合，KM2得电，接通液压泵电动机主电路，液压泵工作。当按下按钮SB4或者过载使FR2动作时，输入继电器X16为OFF，输入继电器X3为ON，取反后也为OFF，这时都会造成输出继电器Y1断电，接触器KM2断电，液压泵电动机停止工作。

（3）工件的夹紧和松开

工件安装在定位面上以后，按下按钮SB7，则输入继电器X6为ON，输出继电器Y6、Y7逻辑回路导通，驱动电磁换向阀YV4、YV5的电磁铁YA5、YA6线圈回路接通，电磁铁吸引阀心处于左位，液压缸动作夹紧工件；当按下按钮SB8时，输入继电器X7为ON，取反后的常闭触点为OFF，输出继电器Y6、Y7的逻辑回路切断，输出继电器Y6、Y7断电，对应的电磁铁线圈YA5、YA6断电，液压缸往相反的方向动作，松开夹紧机构，以便操作者从夹具上取下工件。

（4）液压滑台的工作过程

当转换开关SA1处于接通状态时，输入继电器X14为ON，这时输出继电器Y2、Y4逻辑回路能够自锁，其动作顺序如下：滑台在原位SQ1压下→输入继电器X10为ON→按下按钮SB1→输入继电器X0为ON→输出继电器Y2、Y4逻辑回路导通→电磁铁YA1、YA3得电→电磁换向阀YV1、YV2动作→液压系统驱动滑台快进→当快进到SQ2位置时，行程开关SQ2被压下→输入继电器X11为ON→辅助继电器M0逻辑回路得电并自锁→M0的常闭触点为OFF→断开了输出继电器Y4的逻辑回路→电磁铁YA3断电，只有YA1得电→滑台工进→开始钻削加工→当工进到SQ3位置，行程开关SQ3被压下→输入继电器X12为ON→输出继电器Y5得电并自锁→电磁铁YA4得电→电磁阀YV3动作→液压系统驱动液压缸作速度较慢的二次进给→进行锪孔加工→当滑台进给到SQ4位置时，行程开关SQ4被压下→输入继电器X13为ON→定时器T0逻辑回路接通，开始计时→滑台前端由于固定挡铁作用而不能前进→加工沉头孔底→定时时间到，T0映像寄存器为ON→T0常开触点为ON→输出继电器Y3线圈逻辑回路导通→常闭触点切断了其他输出继电器的电

路→电磁铁 YA2 得电→电磁阀 YV1 动作→液压系统驱动液压缸快速后退→到 SQ1 位置→输入继电器 X10 为 ON→定时器 T0 断电→输出继电器 Y3 断电→液压滑台停止在原位。

当转换开关 SA1 处于断开悬空位置时,输入继电器 X14 为 OFF，此时处于调整控制状态。按下按钮 SB1 时,输入继电器 X0 驱动输出继电器 Y2、Y4 得电,但不能自锁,YA1、YA4 点动得电,液压缸带动动力头前进,任何位置放开按钮 SB1,液压缸就停留在那个位置;如果要让滑台返回起点位置,则按下按钮 SB2,输入继电器 X1 为 ON,驱动输出继电器 Y3 线圈逻辑回路导通,YA2 得电,液压滑台快速退回原位。

第 11 章　深孔钻削组合机床控制系统

11.1　深孔钻削组合机床的继电器—接触器控制设计

11.1.1　深孔钻削组合机床继电器—接触器的工艺特点

1. 细长孔加工的特点

长径比超过 20 的深孔叫做细长孔，在大批量生产的组合机床上，一般用加长麻花钻对细长孔进行钻削加工。由于钻头无法制成中空形式，并且其结构细长、刚性差，加工过程中钻头容易过热，硬度下降，磨损加快，切削力增加，容易造成钻头断裂，孔的质量不易保证，另外当刀具切削到孔的中部位置时，存在排屑困难、散热差等问题，所以细长孔加工被视为比较困难的工序，实践中常采用行程控制法，通过分级进给来进行加工。当工件孔的深度尺寸较大时，为了缩短刀具长度，提高刀具刚性和生产效率，常常采用两边同时分级进给的方式进行，其工作示意图如图 11-1 所示。

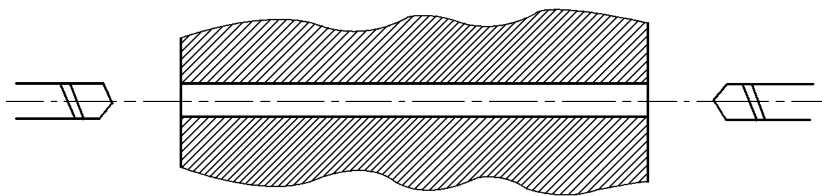


图 11-1　两面进给深孔钻削示意图

2. 分级进给工作循环

在大批量生产中，加工深孔常采用分级进给的方法，即让钻头钻进一段距离即退出一次，以便排屑和冷却。分级进给过程如下：每次工作切削循环，当钻削到一定的深度后，刀具退离工件加工位置，到工件孔的端面附近进行排屑和刀具的冷却；然后再快速进给，当钻头再快进到接近上次加工末端（一般留 3～5mm）又转为工进，这样反复多次，直到加工完毕。根据被加工工件的材料、硬度及刀具材料等相关参数，可以确定首次钻削深度，并设置其工作循环次数。孔的深度越大，反复循环的次数越多，控制越复杂。

由于分级进给是往复多次，其加工时间往往很长，设计时必须合理安排动作循环，既保证钻头的正常工作，又要力求减少循环时间，提高生产效率。分级进给实质就是将深孔简化为短孔加工，可以将长孔等分成若干短孔，这些短孔加工时间为循环的机动时间，而将每次的快进和快退等所费的时间为辅助工时。为了提高深孔加工

的生产效率，减少辅助时间损失，要求能实现以下动作循环：首先，保证多次进给的切入长度一样，即在钻头钻完一个短孔后，退出后再次快进时应能迅速通过已加工的孔，接近待加工表面，再转换成工作进给，并保证有一个较小的切入量（距离待加工部分 3～5mm）；其次，第一次加工循环完毕，动力头快退时没有必要退到原位，而只退到钻头离开工件端面一小段距离，达到排屑和冷却的目的即可；而且以后的每次中间退回，都是退回到这个位置，这个位置通常称为退离线。以后的每次循环都是从退离线开始快进，然后工进，最后快退，不断往复，直到到达终点后才快退回滑台原位。左、右滑台加工孔的深度基本相当，循环过程相同，自动工作循环如图 11-2 所示。

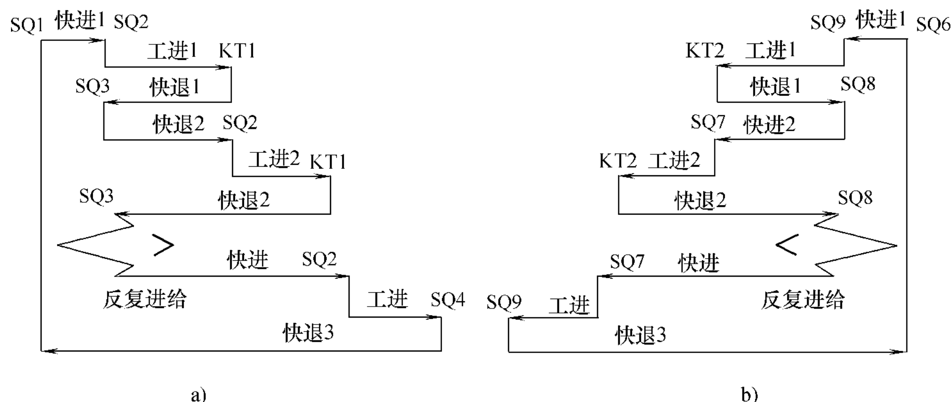


图 11-2　左、右滑台自动工作循环过程

3. 控制要求

1）加工循环过程如下：滑台原位起动→快进→进给挡块压下行程开关→滑台工进→进给到分级退处→滑台快退→快退到退离线→滑台再快进→到距离未加工部分一定距离，压下行程开关→滑台再工进→以此下去。滑台这样循环往复，一直加工到孔深的位置压下加工终点开关，滑台快退回原位。

2）在工作循环过程中，动力头电动机必须先起动，进给电动机才能起动。保证切削时刀具已经转动起来。

3）进给电动机也能在动力头电动机不转时单独调整进给电动机。

4）两边刀具的总进给行程相当，但必须避免两把刀具同时到达中间位置时的碰撞。

5）左、右快速进给电动机停止时必须制动。

6）动力头电动机在循环中同时起动，但为了调整方便，也可以单独起动。

7）保证在工件夹紧后才能进行进给加工。

8）左、右滑台可以单独调整。

11.1.2 深孔钻削组合机床的传动系统说明

1. 机械滑台传动系统

机械滑台的传动系统如图 11-3 所示，它是由滑台、滑座和双电动机传动装置三部分组成。滑台的快进是由快速电动机经过齿轮 $Z_1 \to Z_2 \to Z_3 \to Z_4 \to Z_5 \to Z_6$，然后传递到丝杠，由于传动路线短，传动比大，速度降低少，所以丝杠转速高，由丝杠带动滑台实现快速运动。滑台快退时传动路线不变，靠快速电动机反转来实现。当滑台快进或者快退时，工进电动机可以转动，也可以不转动，两者的区别在于滑台的快进与快退速度不一。

滑台的工进是由工进电动机经齿轮 $Z_7 \to Z_8 \to$ 交换齿轮（$A \to B \to C \to D$）$\to$ 蜗杆蜗轮（$Z_9 \to Z_{10}$）$\to$ 行星齿轮 $\to Z_5 \to Z_6$，最后由丝杠带动滑台作慢速进给。由于传动路线长，传动比小，速度降低较多，所以滑台运动慢。系统惯性大，快速运动速度高，快速停车时，需要位置准确，所以对于快速电动机无论是在快进还是快退过程中，都需要制动，常采用断电制动型电磁制动器。当制动器线圈得电时，产生电磁力，克服弹簧的作用力吸引制动部分与制动轴分离，制动轴可以自由转动；反之，制动器的制动部分在弹簧的作用下会抱紧制动轴，制动轴不能自由转动，实现制动。

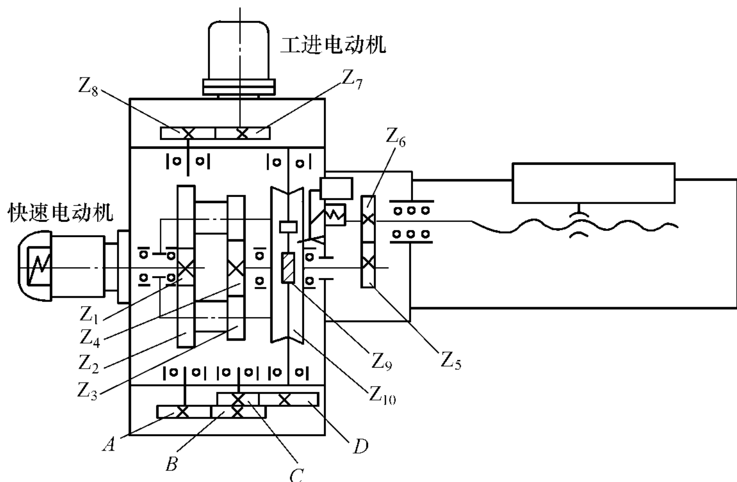


图 11-3 机械滑台传动系统

2. 行程开关布置说明

机械滑台的分级进给机构设计了大量的行程开关，在控制进给行程位置中起着重要作用。为了方便理解，根据图 11-2，分别介绍如下：SQ1 为左滑台原位行程开关；SQ6 为右滑台原位行程开关；SQ2 为左滑台快进转工进用行程开关，压动它的挡铁为分级进给机构的分级进给挡铁，它是可移动挡铁，工作时它相对于动力头来讲是不

断向后移，即每一次钻孔进给多长，挡铁就后移多长，所以相对于滑动挡铁，SQ2 是在随着滑台的每一次进给而前移，每一次压下 SQ2 时，钻头已经到达了距离前一次工进结束位置不远处，压下 SQ2 后就转换成工进；SQ7 是右滑台的快进转工进用行程开关，由右滑台的可移动滑动挡铁压下，其作用同 SQ2；SQ3 是左滑台确定退离线位置的行程开关，当压下 SQ3 时，表示退回排屑结束，准备再次开始下一次循环，一般设置在距离工件孔外一定的位置，为了节约时间，不需要设置在滑台的原位，每次分级进给循环都需要退到此处后才能再次向前；对应右滑台的行程开关是 SQ8，右滑台每次循环退回的退离线由 SQ8 位置决定；SQ4 是左滑台的终点行程开关，SQ9 是右滑台的终点行程开关，对于两面同时进给的深孔钻削组合机床，左、右两面滑台的钻削深度一般是相等的，所以 SQ4 和 SQ9 位置的设置是在各滑台到达终点位置时，钻头应该在孔的中间位置左右，需要有一定长度的交叉，保证完全钻穿。

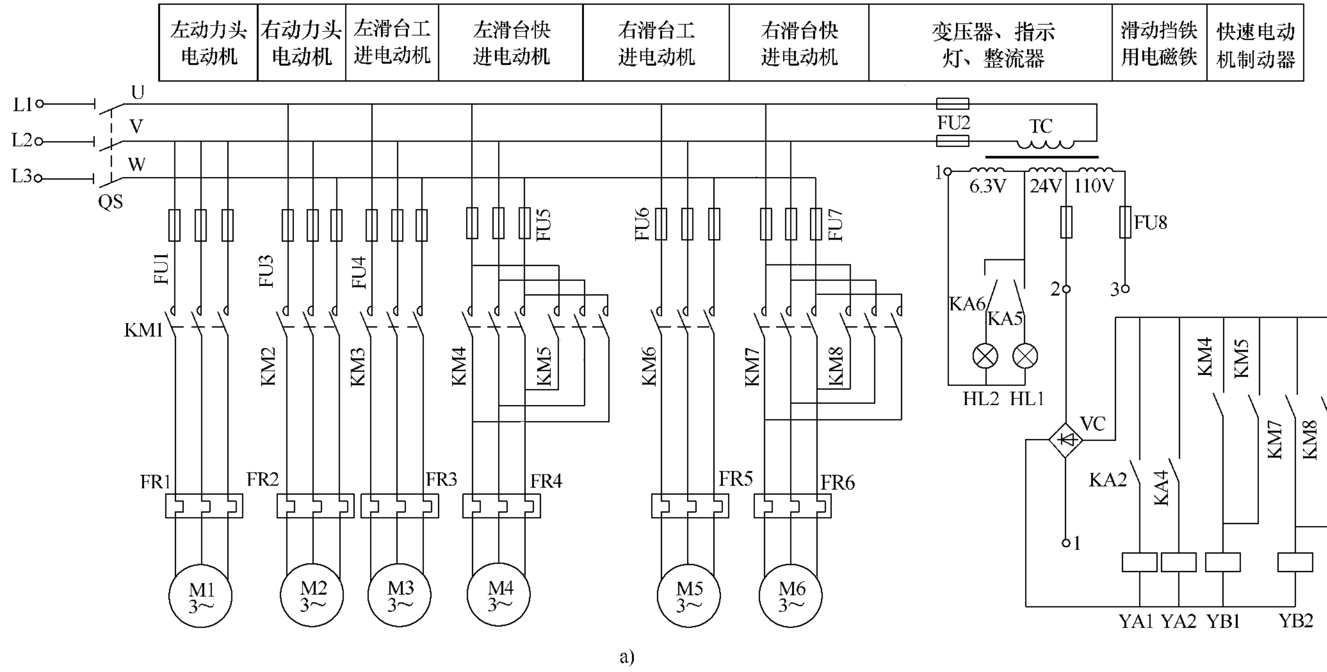
行程开关 SQ5 和 SQ10 的作用是，当滑动挡铁被限位挡铁复位至原始位置后，压下此行程开关，可以发出信号，令限位挡铁落下，使滑动挡铁跟随滑台继续向后，以保证下次循环的行程。限位挡铁的升降由电磁铁控制。SQ5 用于左滑台的滑动挡铁，SQ10 用于右滑台的滑动挡铁。

11.1.3　电路控制设计与说明

为了满足加工要求，综合考虑工艺、机床结构特点，所设计的双面分级进给组合机床的继电器控制电气原理图如图 11-4 所示，所用低压电气元件见表 11-1。

表 11-1　深孔钻削组合机床低压元件表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1、M2	左、右动力头电动机	SA1、SA2	左、右主电动机摘除转换开关
M3、M4	左滑台进给电动机	SA3、SA4	左、右滑台调整用转换开关
M5、M6	右滑台进给电动机	SA5、SA6	左、右滑台摘除用转换开关
FR1～FR6	热继电器	SQ1～SQ4	左滑台进给行程开关
FU1～FU8	熔断器	SQ5～SQ10	滑动挡铁复位行程开关
TC	变压器	SQ6～SQ9	右滑台进给行程开关
VC	整流器	KM1～KM8	电动机控制接触器
SB7、SB8	故障退回按钮	YA1、YA2	滑动挡铁复位用电磁铁
KZ1、KZ2	过扭触点	YB1、YB2	滑台快进电动机电磁制动器
KP	夹紧压力继电器	KA1、KA2	左滑台快退用中间继电器
HL1、HL2	过扭指示灯	KA3、KA4	右滑台快退用中间继电器
VC	整流器	SB1、SB2	动力头电动机起停按钮
KT1～KT3	时间继电器	SB3～SB6	左、右滑台控制按钮


左动力头电动机
右动力头电动机
左滑台工进电动机
左滑台快进电动机
右滑台工进电动机
右滑台快进电动机
变压器、指示灯、整流器
滑动挡铁用电磁铁
快速电动机制动器
L1
L2
L3
QS
U
V
W
FU1
FU2
FU3
FU4
FU5
FU6
FU7
FU8
TC
6.3V
24V
110V
KM1
KM2
KM3
KM4
KM5
KM6
KM7
KM8
KA2
KA4
KA5
KA6
HL1
HL2
VC
FR1
FR2
FR3
FR4
FR5
FR6
M1 3~
M2 3~
M3 3~
M4 3~
M5 3~
M6 3~
YA1
YA2
YB1
YB2

a)

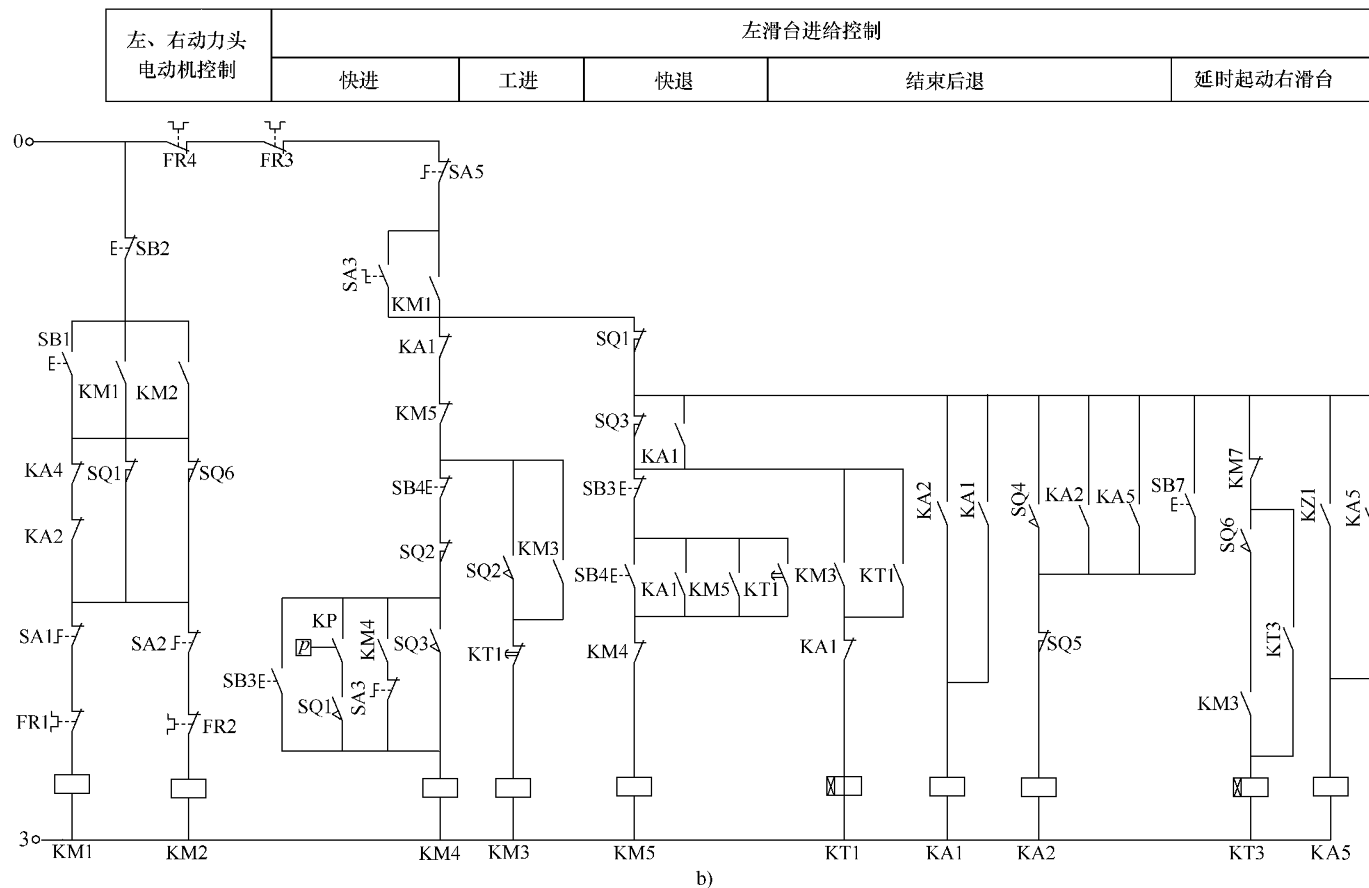


图11-4　双向分级进给深孔加工电气原理图

右滑台进给控制			
快进	工进	快退	结束后退与过扭后退

c)

图11-4 双向分级进给深孔加工电气原理图（续）

1. 主电路

双向分级进给的深孔加工组合机床主要电动机包括左动力头电动机 M1、右动力头电动机 M2、左快进电动机 M4、左工进电动机 M3、右快进电动机 M6、右工进电动机 M5。其中,左、右滑台的快进电动机 M4 和 M6 需要正、反转,其他电动机都是单向转动;所有电动机都需要进行过载保护和短路保护。

2. 控制电路

(1) 动力头电动机控制

当按下按钮 SB1 时,接触器 KM1 和 KM2 线圈得电并自锁,分别接通电动机 M1 和 M2 电动机的主电路,左、右动力头电动机带动钻头作旋转主运动。接触器 KM1 和 KM2 的辅助常开触点闭合,分别为左、右滑台的进给循环电路工作做好了准备。

当按下按钮 SB2 时,接触器 KM1 和 KM2 线圈电路断开,M1 和 M2 主电路断开,转动停止。

在自动循环过程中,按下按钮 SB1 实现起动,但当左、右滑台循环结束时,左、右滑台分别压下行程开关 SQ1、SQ6,其常闭触点断开,并且滑台快退返回,中间继电器 KA2 和 KA4 线圈得电,其常闭触点断开,所以当滑台都快退到原点位置时,接触器 KM1、KM2 线圈断电,左、右动力头电动机自动停止。

在机床调整过程中,通过转换开关 SA1 和 SA2 可以避开接触器 KM1 和 KM2 线圈,实现主电动机的单独调整。当 SA1 断开时,按下按钮 SB1,则只有接触器 KM2 被接通,KM1 不能接通,电动机 M2 转动,M1 则不动。当只需要调整 M1 时,则将 SA2 断开。

(2) 自动循环过程控制电路

自动循环工作前的准备条件:

① 动力头电动机已经起动。

② 滑台停留在起点位置。左、右滑台的起点行程开关 SQ1 和 SQ6 被压下,常开触点闭合。

③ 工件已经被夹紧。当工件夹紧时,压力继电器 KP 触点闭合。夹紧部分没有直接画出,可以参考前面的液压夹紧示例。

1) 左滑台工作循环。

① 快进。当左动力头电动机起动时,其控制接触器 KM1 的常开触点已闭合,只要夹紧装置一夹紧工件,回路压力增加,压力继电器 KP 的触点就闭合,接触器 KM4 线圈回路接通,线圈得电并自锁,电动机 M4 主电路接通,M4 带动左滑台作快速进给运动。

当左滑台快速运动到距离工件表面一定距离时,压下行程开关 SQ2,KM4 线圈电路切断,电动机 M4 停止转动。

② 工进。SQ2 被压下时,截断了接触器 KM4 的线圈回路,同时接通了接触器

KM3 的线圈电路，KM3 线圈得电并自锁，主触点闭合，接通左滑台的工进电动机 M3，M3 带动左滑台作一次工进，左动力头开始第一次钻削工件孔。

当钻削头开始钻削工件孔时，KM3 的常开触点闭合，使时间继电器 KT1 线圈（通电延时型）得电并自锁，开始计时（在设计中，利用定时时间来控制工进长度），当计时时间到达 KT1 的整定时间时，其延时触点动作，延时断开的常开触点断开，切断 KM3 线圈电路，电动机 M3 停止转动。

③ 快退。时间继电器 KT1 延时闭合的常开触点闭合，接通接触器 KM5 的线圈回路，KM5 得电并自锁，接通左滑台的快进电动机 M4 的反转电路，电动机 M4 反转，带动左滑台快速后退。当滑台快速后退到行程开关 SQ3 处（一般设置在工件孔外一定的位置），能够使刀具把切屑带出，并得到切削液的喷淋，第一次短行程切削循环结束。

④ 往返自动循环进给。行程开关 SQ3 被压下，KM4 线圈得电并自锁，左滑台电动机 M4 正转电路接通，滑台快进，当压下行程开关 SQ2 时，M4 断电，又转换成 M3 起动，滑台工进，KT1 延时，以此下去循环往复。

⑤ 最后一次快退。左滑台带动动力头反复进给，当加工到工件中间位置时，压下行程开关 SQ4，其常开触点闭合，接通中间继电器 KA2 线圈回路，KA2 得电并自锁，其常开触点接通中间继电器 KA1，KA1 线圈得电并自锁。KA1 的常开触点闭合，将 KM5 线圈回路中的行程开关 SQ3 的常闭触点短接，使得左滑台在快速退回经过行程开关 SQ3 时，SQ3 被压下，常闭触点断开。但由于 KA1 的常开触点闭合，所以 KM5 仍然得电，滑台继续快退，直到压下行程开关 SQ1，SQ1 的常闭触点断开，KM5 才断电，电动机 M4 停止。

另外，在 KA2 得电的同时，直流电磁铁 YA1 得电，产生电磁力把复位挡销抬起，将滑动挡铁挡住，令其复位。当滑台向后运动，压下行程开关 SQ5，SQ5 的常闭触点断开，使 KA2 断电，挡销落下，滑动挡铁随同滑台复至原位，KA1 断电。由此可见，中间继电器 KA2 的作用是产生加工结束信号，并控制滑动挡铁的复位，而中间继电器 KA1 则主要是控制滑台顺利后退到原位。

2）右滑台工作循环。一般情况下，左、右滑台的加工长度各占一半，加工时间基本相当，当进给到中间位置时，容易发生刀具相撞事故。为了避免发生这种情况，采取的方法是，右滑台后于左滑台开始进给，当到达中间位置时，左滑台先到达，右滑台后到达，避免了同时到达。

① 延后进给。当左滑台由快进转换到开始工进时，接触器 KM3 得电并自锁，其常开触点闭合，时间继电器 KT3 得电并自锁，定时开始，此时左滑台仍然在工进。当定时时间到达整定值时，KT3 的延时触点动作，其延时闭合的常开触点闭合，使接触器 KM7 线圈电路接通，KM7 得电并自锁。右滑台的工作循环开始。

② 快进过程。KM7 得电，电动机 M6 正转。其电路如下：电源经过热继电器

FR5 和 FR6 的常闭触点→SA6 的常闭触点→接触器 KM2 的常开触点闭合→KA3 的常闭触点→KM8 的互锁常闭触点→SB6→SQ7 常闭触点→KT3 的延时动合触点→KM7 线圈。

③ 工进过程。快进到 SQ7 处,KM7 电路切断,接触器 KM6 得电,电动机 M5 得电起动,滑台工进。其电路如下:电源经过热继电器 FR5 和 FR6 的常闭触点→SA6 的常闭触点→接触器 KM2 的常开触点闭合→KA3 的常闭触点→KM8 的互锁常闭触点→SQ7 动合触点闭合→KT2 延时动断触点→KM6 线圈。

同时,接触器 KM6 的常开触点闭合,使时间继电器 KT2 线圈(通电延时型)得电并自锁,计时确定工进长度。

④ 快退过程。KT2 计时时间到,延时动合触点闭合,KM8 线圈电路接通,电动机 M6 反转,滑台快退。其电路如下:电源经过热继电器 FR5 和 FR6 的常闭触点→SA6 的常闭触点→接触器 KM2 的常开触点闭合→原位行程开关 SQ6 常闭触点→快退终点行程开关 SQ8 的常闭触点→SB5→KT2 延时动合触点闭合→KM7 常闭互锁触点→KM8 线圈。

⑤ 自动分级进给循环。右滑台快退到 SQ8 位置,又自动接通 KM7 线圈电路,快进电动机 M6 正转,快进到 SQ7 位置后,又自动接通 KM6 线圈电路,M6 断电停止,M5 转动,带动滑台工进,以此往复循环,孔的加工深度不断增加,直到压下终点行程开关 SQ9。

⑥ 最后一次快退。SQ9 的常开触点闭合,中间继电器 KA4、KA3 线圈得电并自锁,KA3 的常开触点闭合,KM8 线圈得电。电路如下:电源经过热继电器 FR5 和 FR6 的常闭触点→SA6 的常闭触点→接触器 KM2 的常开触点闭合→原位行程开关 SQ6 常闭触点→KA3 的常开触点→SB5→KA3 的常开触点闭合→KM7 常闭互锁触点→KM8 线圈。电动机 M6 的反转电路接通,M6 反转,带动滑台快退,在经过 SQ8 位置时,由于 KA3 短接了 SQ8 的常闭触点,所以 KM8 继续得电,M6 带动滑台继续后退,直到返回原位,SQ6 被压下,SQ6 的常闭触点断开,KM8 断电,电动机 M6 停止。

另外,控制右滑台滑动挡铁的是中间继电器 KA4,其作用与左滑台的中间继电器 KA2 相同,不再叙述。整个自动循环流程图如图 11-5 所示。

3) 撞刀避免控制。为了避免两把刀具同时到达中间位置发生撞刀,在控制电路的设计上,主要考虑了以下两个方面:一是在时间上左滑台先于右滑台进给,由时间继电器 KT3 整定的时间决定延后时间;二是考虑左滑台压下终点行程开关 SQ4 时,右滑台立即后退,即左滑台压下行程开关 SQ4 时,接触器 KM8 立即得电,无论右滑台是在快进还是工进,后退到退离线后再行循环进给,这就能够完全避免相撞。

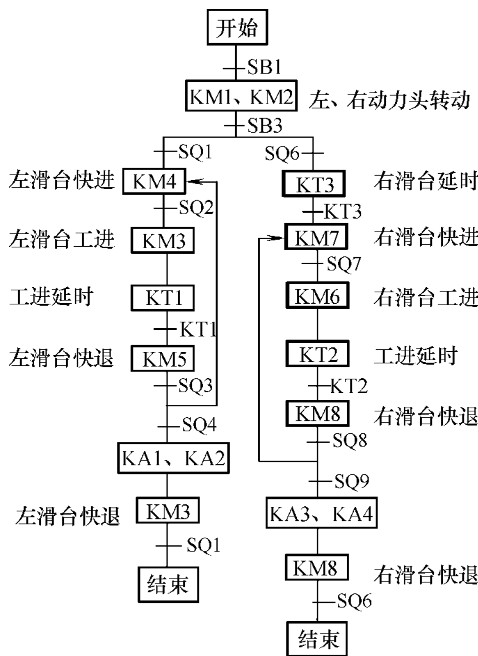


图 11-5　自动循环流程图

（3）调整控制电路

1）左、右滑台的调整。在组合机床的自动工作循环之外，往往需要调整，如行程开关位置的确定、机床的维修、试切、故障处理等。在深孔加工双面进给组合机床上，左、右滑台的调整控制可以先将转换开关SA3、SA4闭合以摘除对应的动力头，同时将电动机快进置于点动状态，当按下按钮SB3时，左滑台快进电动机点动前进；按下按钮SB4时，左滑台快速后退；按下按钮SB5时，右滑台快进电动机点动前进；按下按钮SB6时，右滑台快速后退。

2）故障向后。当在加工过程中出现故障，需要停车返回时，先按下停止按钮SB2，动力头先断电停车，然后按下按钮SB7或SB8，如果是左滑台出现问题，则按下SB7，KA2得电并自锁，一方面接通中间继电器KA1，接通最后一次快退的电路，避免经过SQ3时滑台折回；另一方面，使滑动挡铁复位，为下一次循环做好准备。右滑台类似，不再叙述。

3）过扭后退。当钻头磨损或钻屑中碰到硬点，导致钻头扭矩增大时，需要滑台及时后退，避免钻头被折断，以保护钻头，同时提高了效率。常用的过扭后退保护装置是载荷继电器，KZ1、KZ2分别为左、右动力头上的载荷继电器的常开触点。加工时，当铁屑增多、阻力增大时，驱动电动机绕组电流增加，在其信号电阻上的电压降增加，即发生过扭时，KZ1或KZ2的触点闭合，使中间继电器KA2得电自锁，驱动相应的滑台快速后退到原位。

11.2　深孔钻削组合机床的 PLC 控制设计

11.2.1　PLC 的电路设计

利用 PLC 来控制双面分级进给组合机床的运动，其动力电路与传统的控制方式下的动力电路相同（见图 11-4a 的动力电路部分）。对于 24V 直流部分的控制电路仍然沿用前面的连接，滑动挡铁的复位控制通过 PLC 中间继电器 KA2 和 KA4 来控制复位电磁铁；中间继电器则按照需要的控制逻辑，由 PLC 程序控制；快速进给电动机的制动控制不变，当快速电动机接通时，对应的电磁制动器接通。

将控制系统需要的按钮、行程开关、转换开关、压力继电器、过扭继电器触点等与 PLC 的输入端口相连；将接触器线圈、部分中间继电器线圈、指示灯等与 PLC 的输出端口相连。为了节约使用输入端口的数量，将热继电器触点摘除用转换开关直接与所要控制的接触器线圈连接构成 PLC 的输出回路：当 SA1 断开时，接触器 KM1 线圈不能得电，左动力头电动机被摘除；当 SA2 断开时，接触器 KM2 不能接通，右动力头电动机被摘除；SA5 和 SA6 则能够分别将左、右滑台进给电动机摘除。简化了控制程序，节约了输入端口数量。负载线圈的端口分配采用电压类型相同的、相互之间有互锁关系的共用一个公共端。分配结果，电源类型有两种，一种是 110V 的交流电，主要为接触器和中间继电器线圈提供电源；另一种是 6.3V 的交流电，主要为指示灯提供电源。根据输入、输出总点数和必要的余量，选择 FX2N—48MR 来控制该组合机床。连接电路如图 11-6 所示，PLC 逻辑元件的分配情况见表 11-2。

表 11-2　深孔钻削组合机床低压元件表

电气元件	逻辑元件	作　　用	电气元件	逻辑元件	作　　用
SB1	X0	动力头电动机起动按钮	SQ4	X15	左滑台的终点行程开关
SB2	X1	动力头电动机停止按钮	SQ5	X16	左滑动挡铁复位行程开关
SB3	X2	左滑台前进按钮	SQ6	X17	右滑台原位行程开关
SB4	X3	左滑台后退按钮	SQ7	X20	右滑台快进终点行程开关
SB5	X4	右滑台前进按钮	SQ8	X21	右滑台退离线位置行程开关
SB6	X5	右滑台后退按钮	SQ9	X22	右滑台的终点行程开关
SB7	X6	左滑台故障退回按钮	SQ10	X23	右滑动挡铁复位行程开关
SB8	X7	右滑台故障退回按钮	KZ1	X24	左刀具过扭继电器触点
SA3	X10	左滑台调整用转换开关	KZ2	X25	右刀具过扭继电器触点
SA4	X11	右滑台调整用转换开关	KP	X26	夹紧压力继电器
SQ1	X12	左滑台原位行程开关	KM1	Y0	电动机 M1 控制接触器
SQ2	X13	左滑台快进终点行程开关	KM2	Y4	电动机 M2 控制接触器
SQ3	X14	左滑台退离线位置行程开关	KM3	Y1	电动机 M3 控制接触器

（续）

电气元件	逻辑元件	作　　用	电气元件	逻辑元件	作　　用
KM4	Y2	电动机 M4 正转控制接触器	KA2	Y11	左机滑动挡铁控制用中间继电器
KM5	Y3	电动机 M4 反转控制接触器	KA4	Y13	右机滑动挡铁控制用中间继电器
KM6	Y5	电动机 M5 控制接触器	HL1	Y14	左刀具过扭用指示灯
KM7	Y6	电动机 M6 正转控制接触器	HL2	Y15	右刀具过扭用指示灯
KM8	Y7	电动机 M6 反转控制接触器	—	—	—

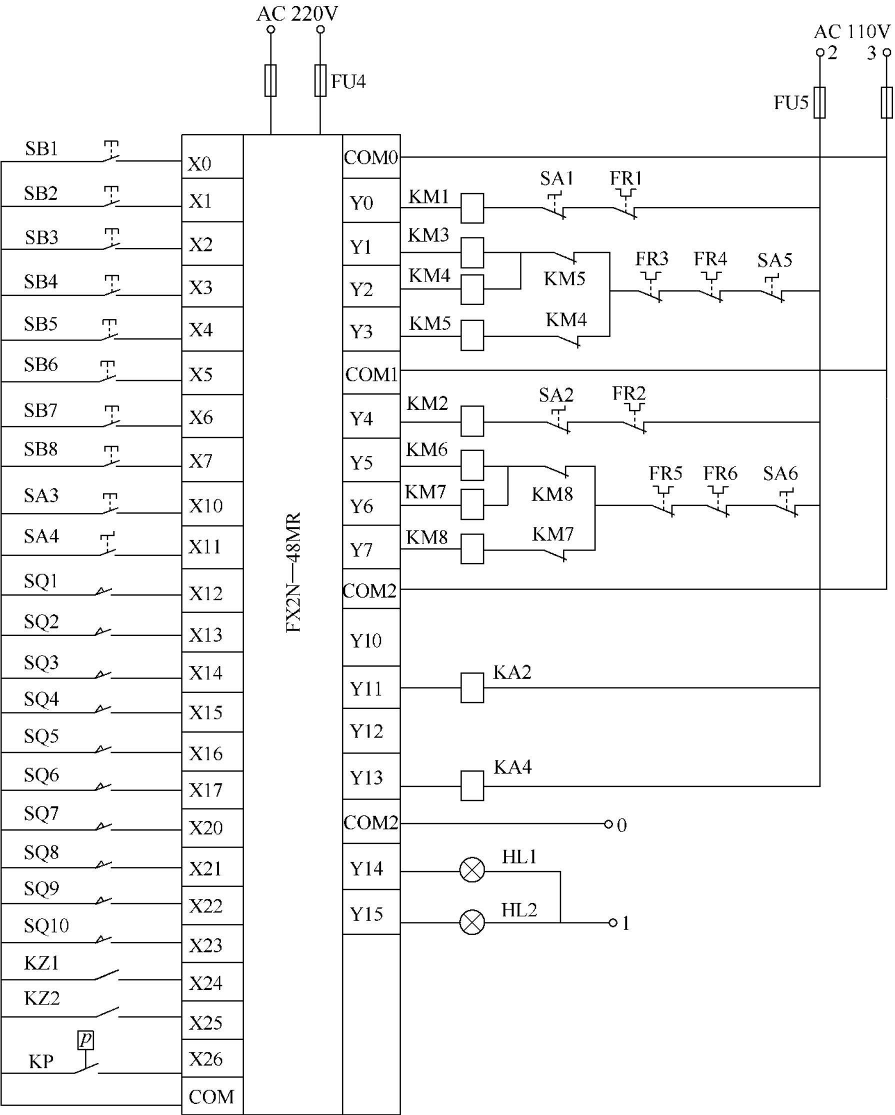


图 11-6　PLC 控制分级进给深孔加工电气原理图

11.2.2　PLC 控制程序设计与说明

根据双面分级进给深孔钻削组合机床的控制要求，以及 PLC 端口的分配情况，设计得到 PLC 的控制程序，如图 11-7 所示。

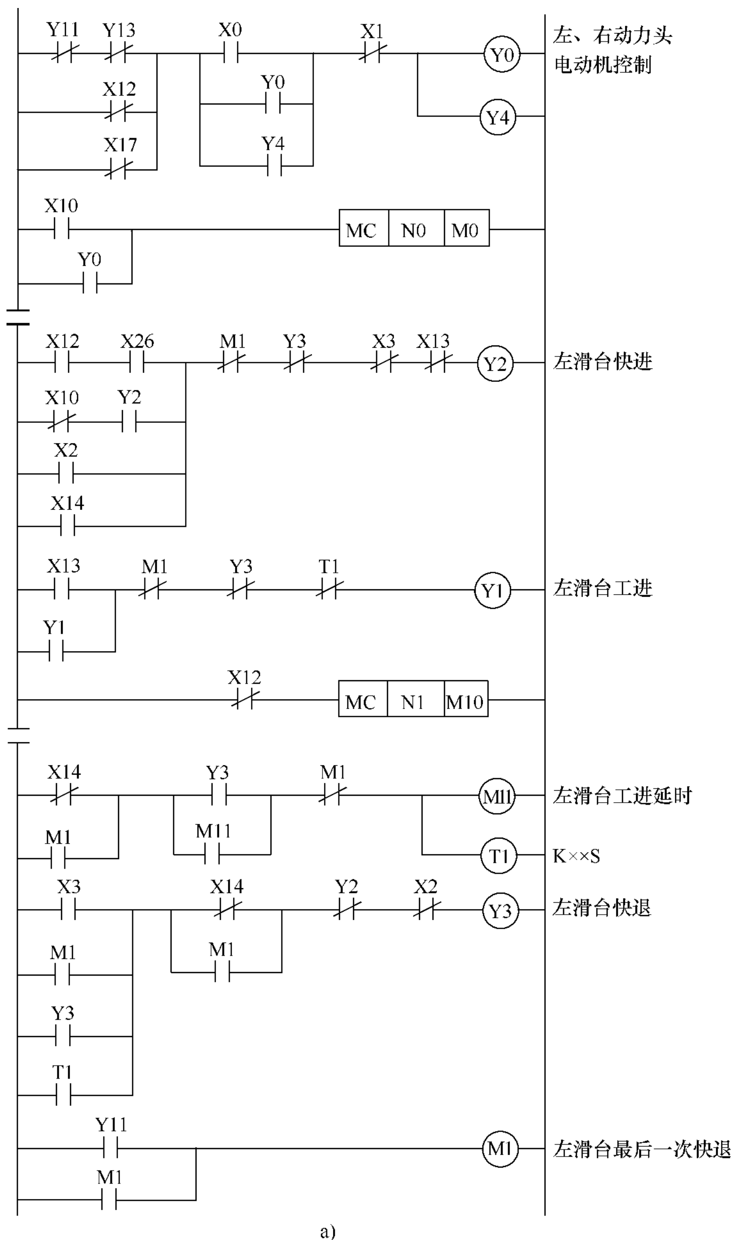
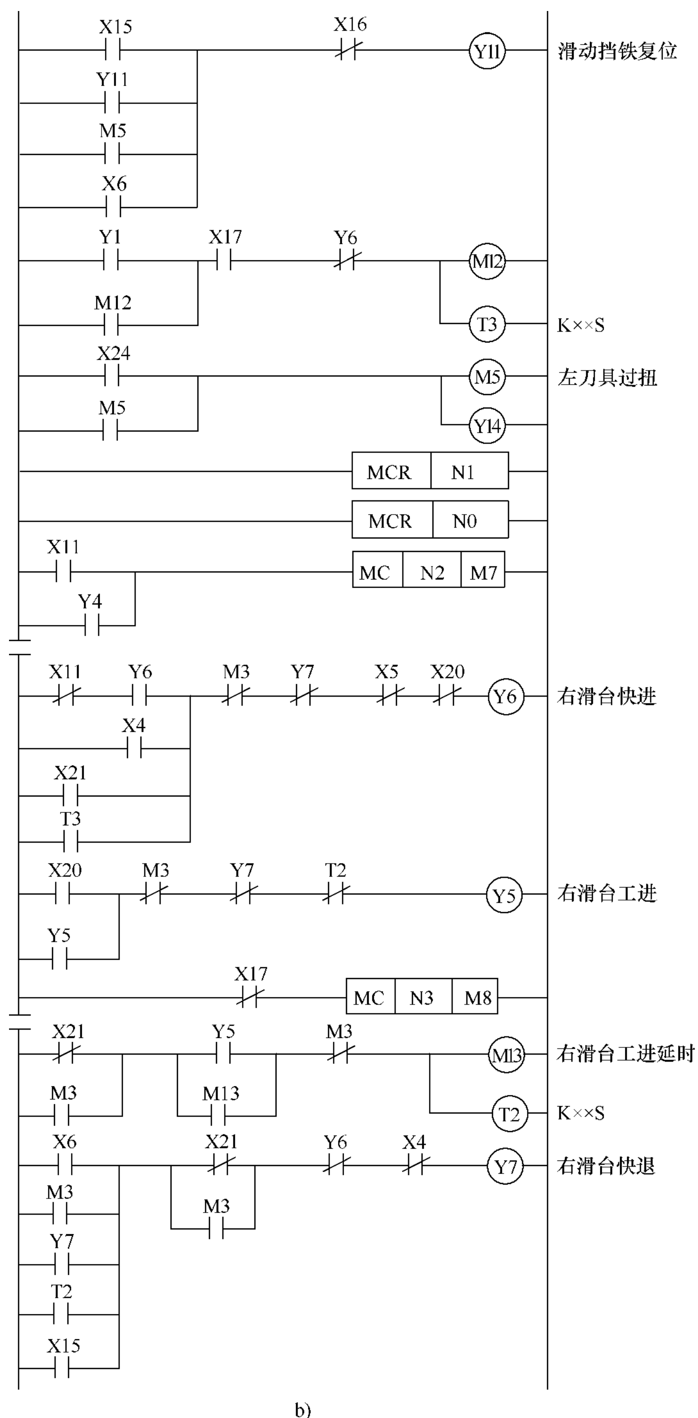
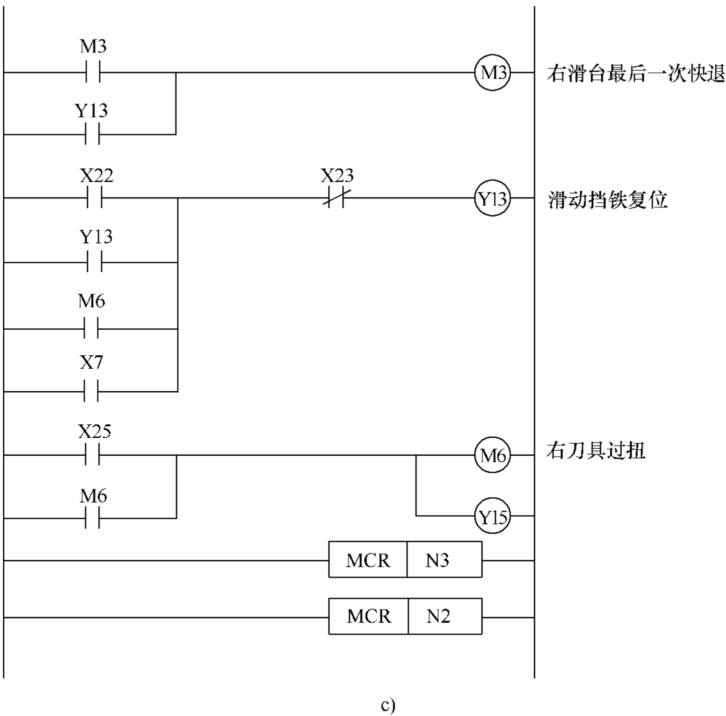


图 11-7　PLC 控制分级进给深孔加工梯形图



b)

图 11-7　PLC 控制分级进给深孔加工梯形图(续)



c)

图 11-7　PLC 控制分级进给深孔加工梯形图(续)

1. 动力头电动机控制程序

在自动循环起动开始时,左、右滑台在原位,行程开关 SQ1 和 SQ6 被压下,其常开触点闭合,所以对应的输入继电器 X12 和 X17 为 ON,取反触点为 OFF,但控制后退用的输出继电器 Y11 和 Y13 为断电状态,此时取反触点为 ON。当按下按钮 SB1 时,输入继电器 X0 为 ON,输出继电器 Y0 和 Y4 线圈逻辑回路接通并自锁,Y0 和 Y4 驱动接触器 KM1 和 KM2 线圈回路导通,KM1 和 KM2 得电,其主触点闭合,使左、右动力头电动机起动。在调整状态下,按下按钮 SB1,同样能够接通输出继电器 Y0 和 Y4 逻辑回路,但 KM1 和 KM2 是否接通,可以用转换开关 SA1 和 SA2 决定,以实现单个的调整。

2. 自动循环过程控制程序

自动循环工作前的准备条件:

1) 动力头电动机已经起动,输出继电器 Y0 和 Y4 已经得电。

2) 滑台停留在起点位置。左、右滑台的起点行程开关 SQ1 和 SQ6 的常开触点闭合,输入继电器 X12 和 X17 为 ON。

3) 工件已经被夹紧。当工件夹紧时,压力继电器 KP 触点闭合,输入继电器 X26 为 ON。

（1）左滑台工作循环

将转换开关 SA3 对应的输入继电器 X10 和左动力头控制接触器 KM1 对应的输出继电器 Y0 的触点作为主控条件，在自动工作循环下，此时输出继电器 Y0 已为 ON，主控条件成立，执行自动工作循环程序。

1）快进。当工件夹紧装置夹紧工件，回路压力增加，压力继电器 KP 触点闭合，输入继电器 X26 为 ON，输出继电器 Y2 线圈逻辑回路导通得电并自锁，驱动外部负载接触器 KM4 线圈回路接通，线圈得电，电动机 M4 主电路接通，M4 带动左滑台作快速进给运动。

当左滑台快速运动到距离工件表面一定距离时，压下行程开关 SQ2，输入继电器 X13 为 ON，输出继电器 Y2 线圈逻辑电路切断，KM4 断电，电动机 M4 停止转动。

2）工进。当 X13 为 ON 时，接通输出继电器 Y1 线圈的逻辑回路，驱动负载接触器 KM3 的线圈电路，KM3 线圈得电并自锁，其主触点闭合，接通左滑台的工进电动机 M3，M3 带动左滑台作一次工进，左动力头开始第一次钻削工件孔。

将 SQ1 对应的输入继电器 X12 的取反触点作为主控元件，是因为在后序的循环过程中，当 SQ1 被压下时，X12 的常闭触点为 OFF，后序所有的程序及动作将停止，所以选择 X12 为主控元件，有利于程序编写。

当钻削头开始钻削工件孔时，Y1 的常开触点使定时器 T1 线圈得电并自锁，开始计时，由于 PLC 的定时器元件无瞬动触点，所以引入辅助继电器 M11 实现自锁，计时得以延续，计时时间的长短控制工进长度，定时时间越长，加工距离越远，当计时时间到达 T1 的整定时间时，T1 的映像寄存器置 ON，T1 的常闭触点动作，切断输出继电器 Y1 的逻辑电路，KM3 线圈断电，电动机 M3 停止转动。

3）快退。当定时器 T1 的定时时间到达设定值，其常开触点闭合，接通输出继电器 Y3 的逻辑回路，Y3 线圈得电并自锁，驱动接触器 KM5 的线圈回路闭合，KM5 得电并自锁，接通左滑台的快进电动机 M4 的反转电路，电动机 M4 反转，带动左滑台快速后退。当滑台快速后退到行程开关 SQ3 处（一般设置在工件孔外一定的位置），能够使刀具把切屑带出，得到切削液的喷淋，则第一次循环结束。

4）往返自动循环进给。当行程开关 SQ3 被压下，输入继电器 X14 为 ON，输出继电器 Y2 逻辑电路接通，Y2 得电并自锁，接触器 KM4 线圈得电，左滑台电动机 M4 正转电路接通，滑台快进。当压下行程开关 SQ2 时，输入继电器 X13 为 ON，输出继电器 Y1 逻辑回路导通，驱动接触器 KM3 线圈电路闭合，输出继电器 Y2 断开，驱动 KM5 断电，M4 断电，接触器 KM3 得电，转换为 M3 起动，滑台工进，T1 延时确定工进距离。不断循环下去。

5）最后一次快退。左滑台带动动力头反复进给，当加工到工件中间位置时，压下行程开关 SQ4，输入继电器 X15 得电，其常开触点闭合，接通输出继电器 Y11

线圈的逻辑回路，使中间继电器 KA2 线圈回路闭合，KA2 得电并自锁，其常开触点接通辅助继电器 M1 线圈逻辑回路，M1 线圈得电并自锁。M1 的常开触点闭合，将 Y3 线圈回路中的输入继电器 X14 的常闭触点短接，使得左滑台在快速退回经过行程开关 SQ3 时，SQ3 被压下，X14 常闭触点为 OFF，但由于辅助继电器 M1 的常开触点闭合，所以 Y3 得电，KM5 得电，滑台继续快退，直到压下行程开关 SQ1，SQ1 的常闭触点断开，主控元件 X12 的取反触点为 OFF ，输出继电器 Y3 线圈回路断开，KM5 断电，电动机 M4 停止。

另外，在 KA2 得电的同时，其常开触点闭合，使直流电磁铁 YA1 得电，产生电磁力把复位挡销抬起，将滑动挡铁挡住，令其复位。当滑台向后运动，压下行程开关 SQ5，SQ5 的常闭触点断开，输入继电器 X16 为 ON，取反触点为 OFF，输出继电器 Y11 断电，使 KA2、YA1 断电，挡销落下，滑动挡铁随同滑台复至原位。

（2）右滑台工作循环

为了避免左、右滑台同时达到中间，造成刀具相撞，采取的方法是：开始时，右滑台后于左滑台开始进给，当到达中间位置时，左滑台先到达，右滑台后到达。

后序程序执行的条件是右动力头已经转动，或者准备单独调整右滑台，所以以输出继电器 Y1 和输入继电器 X11 作为主控条件。

1）延后进给。当左滑台由快进转换到开始工进时，输出继电器 Y1 为 ON，其常开触点闭合，使定时器 T3 得电并自锁，定时开始。由于定时器无瞬动触点，所以添加了一个辅助继电器 M12 来进行自锁。此时，左滑台仍然在工进。当定时时间到达整定值时，T3 的映像寄存器为 ON，其常开触点闭合，使输出继电器 Y6 线圈回路导通得电，驱动接触器 KM7 线圈电路接通，KM7 得电并自锁，电动机 M6 正转，带动右滑台快进，工作循环开始。

2）快进过程。输出继电器 Y6 通过接触器 KM7 驱动电动机 M6 正转。其逻辑回路如下：定时器 T3 的常开触点→辅助继电器 M3 的取反触点→输出继电器 Y7 的互锁触点→与 SB6 对应的输出继电器 X5 取反互锁触点→ SQ7 对应的输入继电器 X20 的取反触点→Y6 线圈。逻辑关系与继电器控制相同。

3）工进过程。快进到 SQ7 处，输入继电器 X20 为 ON，取反后为 OFF ，Y6 线圈逻辑回路断开，KM7 电路切断，同时输入继电器 Y5 线圈逻辑回路导通，接触器 KM6 得电，电动机 M5 得电起动，滑台工进。其电路如下：SQ7 对应的输入继电器 X20 的常开触点→M3 的取反触点→与 KM8 对应的 Y7 的互锁常闭触点→定时器 T2 的取反触点→输出继电器 Y5 线圈。

同时，输出继电器 Y5 的常开触点闭合，使定时器 T2 线圈得电，为了自锁，增加了辅助继电器 M13，延续计时过程，由计时时间长短确定工进长度。

4）快退过程。T2 计时时间到，动合触点闭合，输出继电器 Y7 逻辑回路接通，驱动负载 KM8 线圈电路接通，M6 反转，滑台快退。其电路如下：T2 常开触点闭

合为 ON→与行程开关 SQ8 对应的输入继电器 X21 的取反触点→ Y6 取反互锁触点→与 SB5 对应的输入继电器 X4 的互锁取反触点→KM8 线圈。

5）自动分级进给循环。右滑台快退到 SQ8 位置→输入继电器 X21 为 ON →又自动接通 Y6 线圈逻辑电路→KM7 线圈得电→快进电动机 M6 正转→快进到 SQ7 位置后→输入继电器 X20 为 ON→又自动接通 KM6 线圈电路→M6 断电停止→M5 转动→带动滑台工进。以此往复循环，孔的加工深度不断增加，直到压下终点行程开关 SQ9，输入继电器 X22 为 ON。

6）最后一次快退。输入继电器 X22 为 ON→输出继电器 Y13 逻辑回路导通→驱动 M3 逻辑回路导通实现最后一次快退，在经过 SQ8 时不会自动进给，而是继续后退到原位。另外，Y13 驱动中间继电器 KA4 线圈电路导通，实现滑动挡铁的复位操作。

3. 总结

1）将摘除类的转换开关直接连接到 PLC 的负载回路，节约了输入点数，简化了逻辑关系。

2）PLC 的定时器无瞬动触点，其线圈的自锁用辅助继电器配合完成。

3）PLC 输出继电器控制的负载接触器和中间继电器的触点仍然可以在其他控制电路中使用。

4）对于直流电磁铁线圈、电磁制动器线圈不宜直接与 PLC 的输出端口连接，可以通过中间继电器控制。

第 12 章　双面铣削组合机床控制系统设计

12.1　双面铣削组合机床的继电器控制设计

12.1.1　双面铣削组合机床的特点

1. 组合机床的特点

组合机床是根据特定工件规定的加工工艺要求而设计制造的一种高效自动化专用加工设备。常采用多刀(多轴)、多面、多工位同时进行钻、扩、铰、镗、铣等加工工件,并且具有自动化循环的功能,在机械制造业的成批和大量生产中得到了广泛的应用。

组合机床通常是由具有一定功能的通用部件(如动力部件、支撑部件、输送部件等)和加工专用部件(如夹具、多轴箱等)组成,其中动力部件是组合机床通用部件中最主要的一类部件。常用的动力部件有动力头和动力滑台,在动力头上只安装多轴箱,而滑台上还可以安装由各种切削头组成的动力头,因此动力滑台比动力头通用性更强。动力部件常采用电动机驱动或液压系统驱动,由电气控制系统实现工作自动循环的控制,是典型的机电或机电一体化的自动化加工设备。

2. 双面铣削组合机床的结构及运动分析

双面铣削组合机床是在工件两相对表面上进行铣削的一种高效自动化专用加工设备,可用于对铸件、钢件及有色金属件的大平面铣削,一般用于柴油机、拖拉机等行业箱体类零件的加工,组合机床结构示意图如图 12-1 所示。两个动力滑台对面布置并安装在底座上,左、右铣削动力头固定在滑台上,中间的铣削工作台是用以完成铣削的通用进给动力部件,与铣削头配套,再配以各种夹具,选择合理的刀具和切削参数即可进行平面铣削。

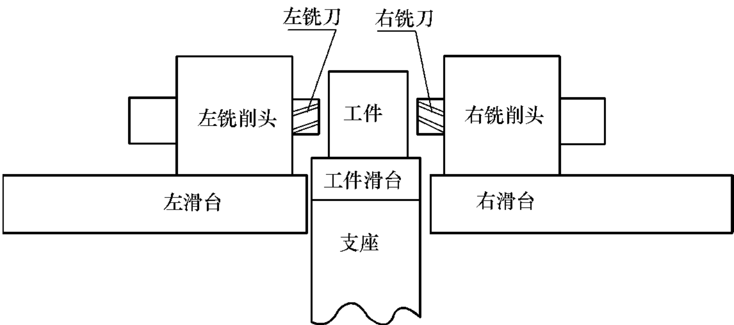


图 12-1　双面铣削组合机床结构示意图

双面铣削组合机床的控制过程是典型的顺序控制，铣削工作滑台及左、右动力滑台的工作循环如图 12-2 所示。工作时，先将工件装入夹具定位，夹紧后，按下起动按钮，机床工作的自动循环过程开始。首先两面动力滑台同时快进，此时刀具电动机也起动工作，滑台至行程终端停下；为了更好地控制加工尺寸，应该在终点设置挡铁，接着工件工作台快进、工进；铣削完毕后，左、右动力滑台快速退回原位，到达原位后刀具电动机停止转动；铣削工作台快速退回原位；最后松开夹具并取出工件，一次加工循环结束。

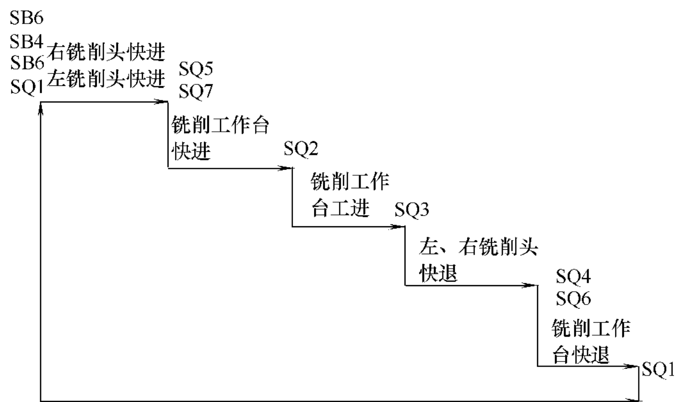


图 12-2　工作循环图

12.1.2　双面铣削组合机床的液压系统说明

双面铣削组合机床采用电动机和液压系统相结合的驱动方式，液压系统示意图如图 12-3 所示。

机床的左、右动力滑台和工件工作台滑台均由液压系统驱动。由图 12-3 可知，左、右动力滑台的快进、快退动作分别由两个液压缸完成，并有两个三位四通电磁换向阀分别对其两个运动的方向进行切换，其中电磁阀 YV3 控制左缸换向，电磁阀 YV4 控制右缸换向，以完成快进和快退；工件工作滑台快进、工进和快退的控制由电磁阀 YV1 和 YV2 控制。左、右液压动力滑台液压系统具体工作如下：

压力油经过电磁换向阀 YV3 左位(需要 YA4 得电)→左滑台液压缸左腔→左动力头快进。

压力油经过电磁换向阀 YV3 右位(需要 YA5 得电)→左滑台液压缸右腔→左动力头快退。

压力油经过电磁换向阀 YV4 右位(需要 YA7 得电)→右滑台液压缸右腔→左动力头快进。

压力油经过电磁换向阀 YV4 左位(需要 YA6 得电)→右滑台液压缸左腔→左动力头快退。

工件工作台的液压系统具体工作如下：

压力油经过电磁换向阀 YV1 左位(需要 YA1 得电)→工作台滑台液压缸上腔→下腔液压油→ 经过电磁换向阀 YV1 左位→经过电磁换向阀 YV2 左位(YA3 得电)→流入工作台液压缸左腔→快进。

压力油经过电磁换向阀 YV1 左位(需要 YA1 得电)→工作台滑台液压缸上腔→下腔液压油→ 经过电磁换向阀 YV1 左位→节流阀→液压缸→工进。

压力油经过电磁换向阀 YV1 右位(需要 YA2 得电)→工作台滑台液压缸下腔→上腔液压油→ 经过电磁换向阀 YV1 右位→液压缸→工进。

各工步电气动作表见表 12-1。

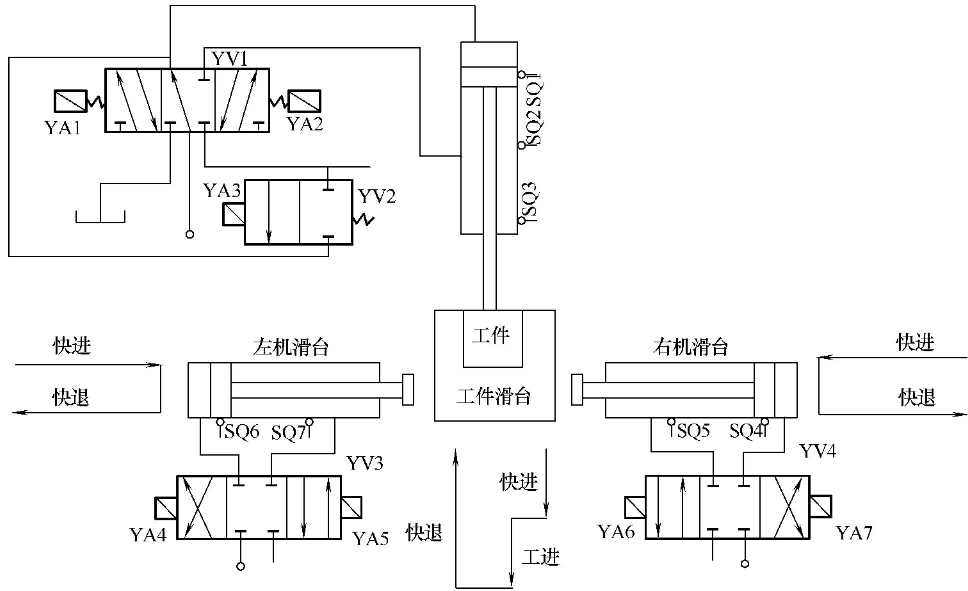


图 12-3　双面组合机床液压系统图

表 12-1　电气动作表

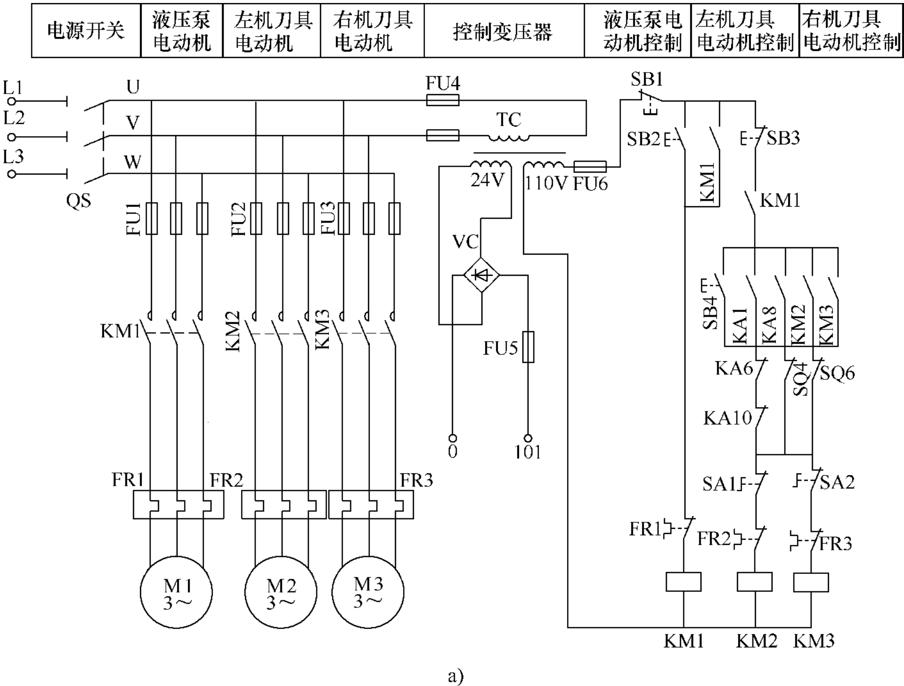
工步	电磁换向阀线圈通电状态							转换开关
	YA1	YA2	YA3	YA4	YA5	YA6	YA7	
左、右滑台快进				+			+	SB6
工作台快进	+		+					SQ5、SQ7
工作台工进	+							SQ2
左、右滑台快退					+	+		SQ3
工作台快退		+						SQ4、SQ6
停止								SQ1
备注	铣削工作台			左机滑台		右机滑台		

12.1.3　电路控制设计与说明

双面铣削组合机床配置有三台三相交流异步电动机，其中 M1 为液压泵电动机，要求首先直接起动，液压系统供油正常后，其他控制电路才能通电工作；M2、M3 分别为左机和右机的刀具电动机，刀具电动机在滑台进给循环开始后起动，滑台退回原位时停机。双面铣削组合机床的电气控制原理如图 12-4 所示，电路图中所用电气元件及功能说明见表 12-2。

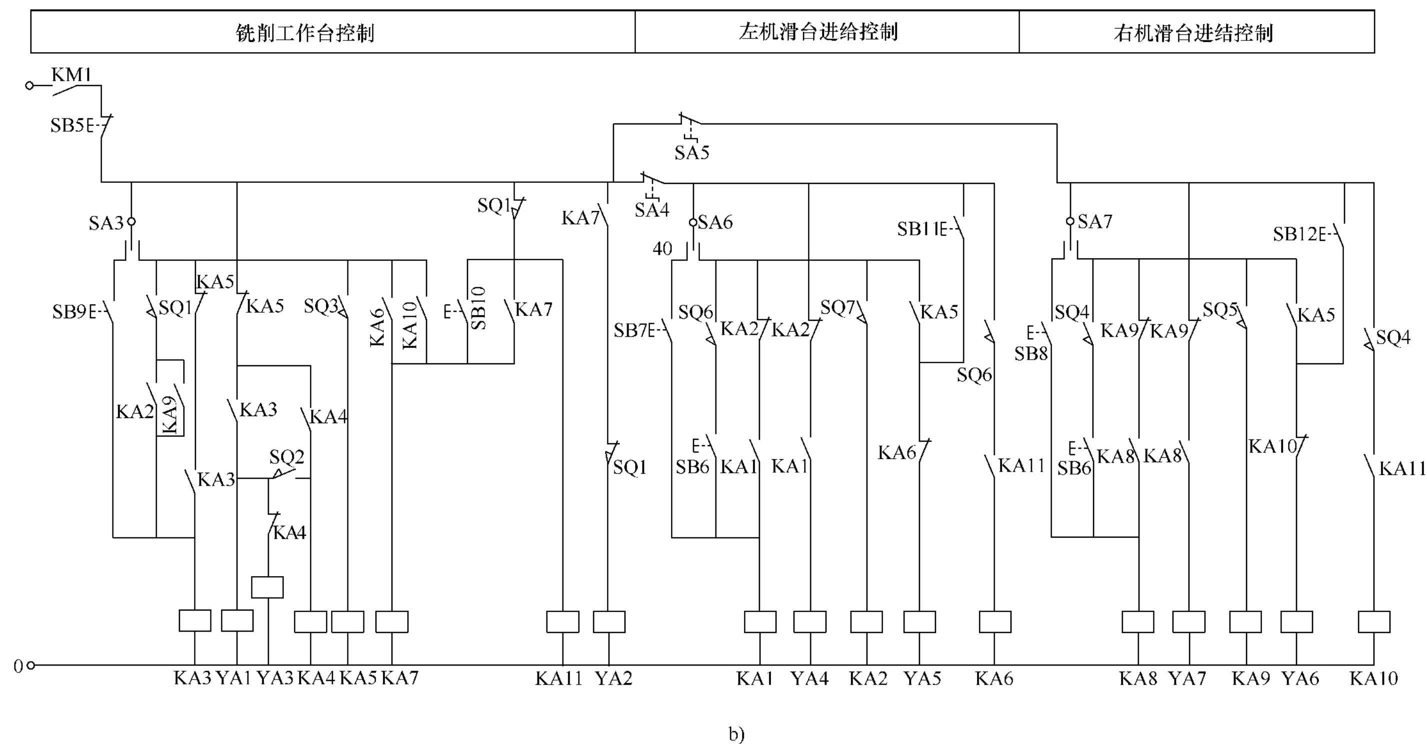
主电路中，M1、M2、M3 三台电动机均为直接起动、单向旋转，分别由交流接触器 KM1、KM2、KM3 的主触点控制其定子绕组的通电与断电。FR1～FR3 分别对三台电动机进行过载保护，FU1～FU3 分别对三台电动机进行短路保护。

控制电路所需交、直流电源分别由控制变压器 TC 二次绕组提供，短路保护分别由 FU5、FU6 来实现。控制电路包含交流电路部分和直流电路部分，交流电路部分用于对三台电动机进行控制，直流电路部分用于对液压系统进行控制。



a)

图 12-4　双面铣削组合机床的电气控制原理图



b)

图12-4　双面铣削组合机床的电气控制原理图（续）

表12-2　电气元件及功能说明

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	液压泵电动机	FR1～FR3	电动机热继电器
M2、M3	左、右机刀具电动机	VC	整流器
KM1	液压泵电动机起动接触器	YA1～YA7	电磁换向阀的电磁铁
KM2、KM3	左、右机刀具电动机起动接触器	KA1～KA10	中间继电器
SQ1～SQ3	铣削工作台行程开关	SB1	总停开关
SQ4、SQ5	右机滑台行程开关	SB2	液压泵电动机起动开关
SQ6、SQ7	左机滑台行程开关	SB3、SB4	刀具电动机起、停按钮
SA1、SA2	电动机摘除选择开关	SB5、SB6	液压系统循环工作起、停按钮
SA3	工作台工作方式选择开关	SB7～SB12	滑台和工作台点动与复位按钮
SA4、SA5	左、右机滑台摘除选择开关	FU1～FU6	熔断器
SA6、SA7	左、右机滑台工作方式选择开关	TC	控制变压器

1. 交流控制电路

交流控制电路如图12-4a所示，其中SB1为总停按钮，SB2为液压泵电动机起动按钮。当按下按钮SB2时，液压泵电动机的控制接触器KM1得电，其主触点闭合，M1起动；KM1辅助动合触点闭合，接通动力头电动机和液压系统的控制电路，满足机床进入加工工作循环的条件。左机刀具电动机M2和右机刀具电动机M3在加工自动循环过程中，由中间继电器及行程开关控制起停；在调整时，由按钮SB3、SB4手动控制起停；选择开关SA1、SA2将刀具电动机M2、M3从工作循环中摘除，这样便于运动部件分别调整。

2. 直流控制电路

直流控制电路主要用于控制液压系统中的电磁换向阀工作，实现运动的自动循环，如图12-4b所示。直流电路包括铣削工作台控制、左机滑台控制及右机滑台控制三部分，可实现整机自动循环、单机半自动循环和点动调整与复位控制。

图12-5为组合机床自动循环工作控制流程图。开始全自动工作循环时，要求接触器KM1的辅助动合触点闭合（液压泵已经起动）；左、右机滑台在原位并分别压下原位行程开关SQ6、SQ4；铣削工作台在原位并压下行程开关SQ1，以上条件满足时，按下起动循环的按钮SB6，即可开始自动加工工作循环过程，按钮SB5可终止循环，自动工作循环的全过程如下：

（1）自动工作循环控制

1）左机滑台快进。按下按钮SB6，中间继电器KA1线圈得电并自锁，驱动接触器KM2和KM3线圈电路接通并自锁；左动力头电动机和右动力头电动机主电路接通起动，KA1的常开触点闭合驱动电磁换向阀YV3的电磁铁YA4线圈电路

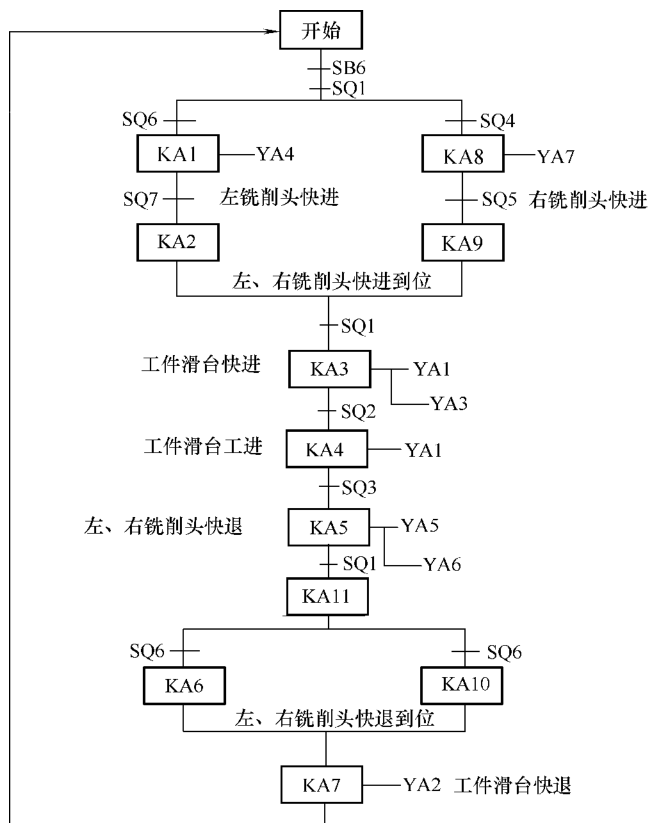


图 12-5　组合机床自动循环工作控制流程图

闭合，根据液压系统的工作情况，左滑台带动左铣削头快进；直到压下行程开关 SQ7，中间继电器 KA2 线圈得电，其常闭触点断开，使得中间继电器 KA1 和电磁铁 YA4 线圈断电，左动力头快进到位停止。

2）右机滑台快进。按下按钮 SB6 的同时，中间继电器 KA8 线圈得电并自锁，KA8 的常开触点也能驱动接触器 KM2 和 KM3 线圈电路接通自锁；接通左动力头电动机和右动力头电动机主电路。KA8 的常开触点闭合驱动电磁换向阀 YV4 的电磁铁 YA7 线圈电路闭合得电，根据液压系统的工作情况，右滑台带动右铣削头快进；直到压下行程开关 SQ5，中间继电器 KA9 线圈得电，其常闭触点断开，使得中间继电器 KA8 和电磁铁 YA7 线圈断电，右动力头快进到位停止。

左右滑台带动动力头运动到切削加工位置，为了保证切削加工尺寸，在进给到加工位置时应该有挡铁。

3）工作台快进。左、右动力头快进到位，为铣削加工做好准备。当中间继电器 KA2 和 KA9 线圈得电时，其常闭触点闭合，接通了中间继电器 KA3 的线圈电

路,KA3线圈得电并自锁,其常闭触点闭合,接通了电磁换向阀YV1的换向电磁铁YA1和电磁换向阀YV2的换向电磁铁YA3,改变了液压压力油的流向。根据前面的液压系统分析,工作台液压缸带动工作台及工件作快进运动,向动力头靠近;当压下行程开关SQ2时,中间继电器KA4线圈得电并自锁,其常闭触点断开,YA3线圈断电。快进结束,表示工件已经接近动力头上的刀具,应该转换成工进了。

4)工作台工进。当YA4线圈得电,YA3断电时,根据前面的液压系统分析,工作台液压缸转换成工进,进给速度减慢,速度的大小可以通过调节节流阀进行调节。工作台液压缸带动工作台和工件缓慢通过刀具,由于刀具的位置已经超过了工件的左右端面,所以当工件缓慢前行时,左、右刀具就能够铣削加工工件的左右端面,直到工件完全通过了刀具,加工结束,行程开关SQ3将被压下,中间继电器KA5线圈得电,其常闭触点断开,使KA3、KA4、YA1线圈电路断开,前进结束。

当工件进给加工完毕后,需要分别退回原位,以便下一次自动加工。但退出有先后,为了防止工件快速退回时与刀具相撞(工件加工表面有弹性恢复),所以左、右滑台应该先快退,然后工作台才快退。

5)左、右机滑台快退。当工作台工进结束时,SQ3被压下,中间继电器KA5线圈得电,其常开触点闭合,驱动电磁换向阀YV3的换向电磁铁YA5和电磁换向阀YV4的换向电磁铁YA6线圈得电。根据液压系统的分析,此时左、右机滑台分别沿相反的方向快速后退。

6)工作台快退。当左机滑台后退到起点位置时,工作台不在原位,行程开关SQ1未被压下,常闭触点闭合,中间继电器KA11线圈得电,其常开触点闭合,为后退做好了准备,当SQ6被压下,中间继电器KA6得电。同样,当右机滑台后退到起点位置时,压下行程开关SQ4,中间继电器KA10线圈得电。KA6和KA10都可以驱动中间继电器KA7的线圈得电并自锁,KA7的常开触点驱动电磁换向阀YV1的换向电磁铁YA2得电,工作台此时被液压系统驱动作快速后退,当后退到起点位置时,压下行程开关SQ1,SQ1的常闭触点断开,KA11、KA7、YA2线圈都断电,后退停止。

当左、右滑台带动动力头退回到起点位置时,行程开关SQ4、SQ6被压下,工作台退回到起点位置,接触器KM2、KM3线圈电路断电,动力头电动机停止转动,刀具停止。

按下停止按钮SB5,可以停止液压系统的工作。

(2)调整控制

1)单机半自动循环。转换开关SA4与SA5可以将左机滑台或右机滑台从整机循环中摘除,从而实现单机半自动循环。当SA4触点闭合、SA5触点断开时,右机滑台从整机循环中摘除,此时按下起动循环按钮SB6,左机滑台单独循环工作;当SA5触点闭合、SA4触点断开时,左机滑台从整机循环中摘除,此时按下起动循

环按钮 SB6，右机滑台单独循环工作。循环过程同前面自动循环过程。

2）点动调整与复位控制。选择开关 SA3、SA6 与 SA7 分别用来选择铣削工作台、左机与右机滑台的工作方式，以调整工作台、左刀具、右刀具的位置。

将 SA3 扳到手动位置时，通过点动按钮 SB9 点动控制工作台滑台前进，按下按钮 SB10，可以点动控制工作台滑台后退。

将 SA6 扳到手动位置时，通过点动按钮 SB7 点动控制左机滑台前进，按下按钮 SB11，可以点动控制左机滑台后退。

将 SA7 扳到手动位置时，通过点动按钮 SB8 点动控制右机滑台前进，按下按钮 SB12，可以点动控制右机滑台后退。

由于控制电路中引入了大量的中间继电器作为系统控制状态的标志，作用较大，可以根据自动循环流程图理解。

12.2　双面铣削组合机床的 PLC 控制设计

12.2.1　PLC 的电路设计

以继电器控制系统为依据，根据控制内容和控制要求以及逻辑关系，在不改动液压系统和主要元件功能的前提下，充分利用各个低压电气元件，设计思路如下：

1）左、右动力头电动机及液压泵电动机主电路不变。

2）控制电路分为 PLC 的硬接线部分和 24V 直流电源供电的电磁换向阀的电磁铁控制电路两个部分。

3）PLC 的电源类型有 110V 的接触器线圈，24V 的中间继电器，6.3V 的指示灯（省略未画）及 220V 的 PLC 电源四种。

4）所有的按钮、行程开关和部分转换开关与 PLC 的输入端口相连，并且都只连接其常开触点，控制中的常闭触点（如停止按钮）则由程序根据元件功能来处理；为了节约输入端口，将转换开关 SA1、SA2 和所有的热继电器常闭触点直接与输出端口的线圈回路连接。

5）考虑液压阀电磁铁负载对 PLC 的影响，所有电磁铁的线圈不直接与 PLC 的输出端口相连，而是通过中间继电器进行控制，即中间继电器与 PLC 的输出端相连，当中间继电器线圈得电后，其常开触点闭合，控制对应的电磁铁工作，对应关系见表 12-3。

表 12-3　中间继电器与电磁铁控制对应表

中间继电器	KA1	KA2	KA3	KA4	KA5	KA6	KA7
电磁铁	YA1	YA2	YA3	YA4	YA5	YA6	YA7

6）由于指示灯部分比较简单，夹紧部分不确定，暂不考虑这两部分内容的设计，但在 PLC 中需留出一定的余量。

根据统计的输入输出点数和 PLC 的选择原则，PLC 选择 FX1N—60MR，输入点数为 36 点，输出点数为 24 点，输出方式为继电器，电路图如图 12-6 所示，端口分配表见表 12-4。

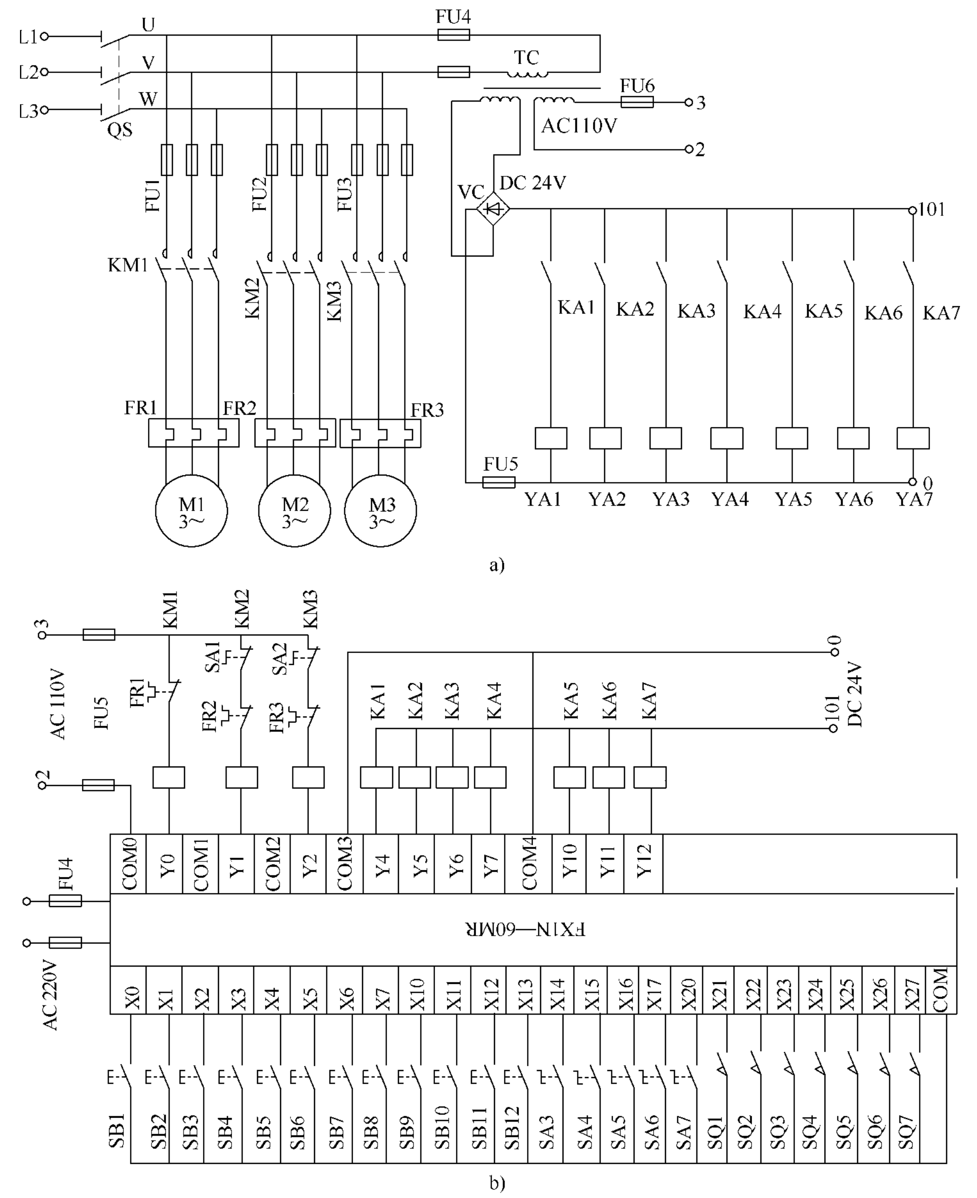


图 12-6　双面铣削组合机床 PLC 控制电气原理图

表 12-4　PLC 逻辑元件分配表

电气元件	作　　用	逻辑元件	电气元件	作　　用	逻辑元件
SB1	液压泵停止按钮	X0	SQ1	工作台原点行程开关	X21
SB2	液压泵起动按钮	X1	SQ2	快进终点行程开关	X22
SB3	刀具电动机停止按钮	X2	SQ3	工进终点行程开关	X23
SB4	刀具电动机起动按钮	X3	SQ4	右机滑台原点行程开关	X24
SB5	液压系统循环工作停止按钮	X4	SQ5	右机滑台切削位置行程开关	X25
SB6	液压系统循环工作起动按钮	X5	SQ6	左机滑台原点行程开关	X26
SB7	左机滑台点动前进按钮	X6	SQ7	左机滑台切削位置行程开关	X27
SB8	右机滑台点动前进按钮	X7	KM1	液压泵电动机起动接触器	Y0
SB9	工作台点动前进按钮	X10	KM2	左机刀具电动机起动接触器	Y1
SB10	左机滑台点动后退按钮	X11	KM3	右机刀具电动机起动接触器	Y2
SB11	右机滑台点动后退按钮	X12	KA1	控制电磁铁 YA1	Y4
SB12	工作台点动后退按钮	X13	KA2	控制电磁铁 YA2	Y5
SA3	工作台工作方式选择开关	X14	KA3	控制电磁铁 YA3	Y6
SA4	左机滑台摘除选择开关	X15	KA4	控制电磁铁 YA4	Y7
SA5	右机滑台摘除选择开关	X16	KA5	控制电磁铁 YA5	Y10
SA6	左机滑台工作方式选择开关	X17	KA6	控制电磁铁 YA6	Y11
SA7	右机滑台工作方式选择开关	X20	KA7	控制电磁铁 YA7	Y12

12.2.2　PLC 控制程序设计与说明

控制程序设计主要根据继电器控制电路中已经表达出的逻辑关系和 PLC 的特点进行设计，程序设计分为两个部分：一部分是电动机的控制部分，另一部分是液压系统的控制。液压系统的控制包括左、右机液压缸的快进、快退控制和工作台液压缸的运动控制。为了便于理解，逻辑关系基本不变。控制梯形图如图 12-7 所示。继电器控制系统中的所有中间继电器改为直接控制换向阀的电磁铁，对应关系如图 12-6 和表 12-3 所示，根据它们在控制中的作用和 PLC 的控制特点，改用逻辑元件中的辅助继电器代替，其逻辑功能不变，对应关系见表 12-5。继电器控制系统中那些只起拓展触点不用于直接控制电动机主电路的中间继电器，在进行 PLC 设计时，都可以考虑用辅助继电器来代替。下面分别对各个部分的控制进行分析说明。

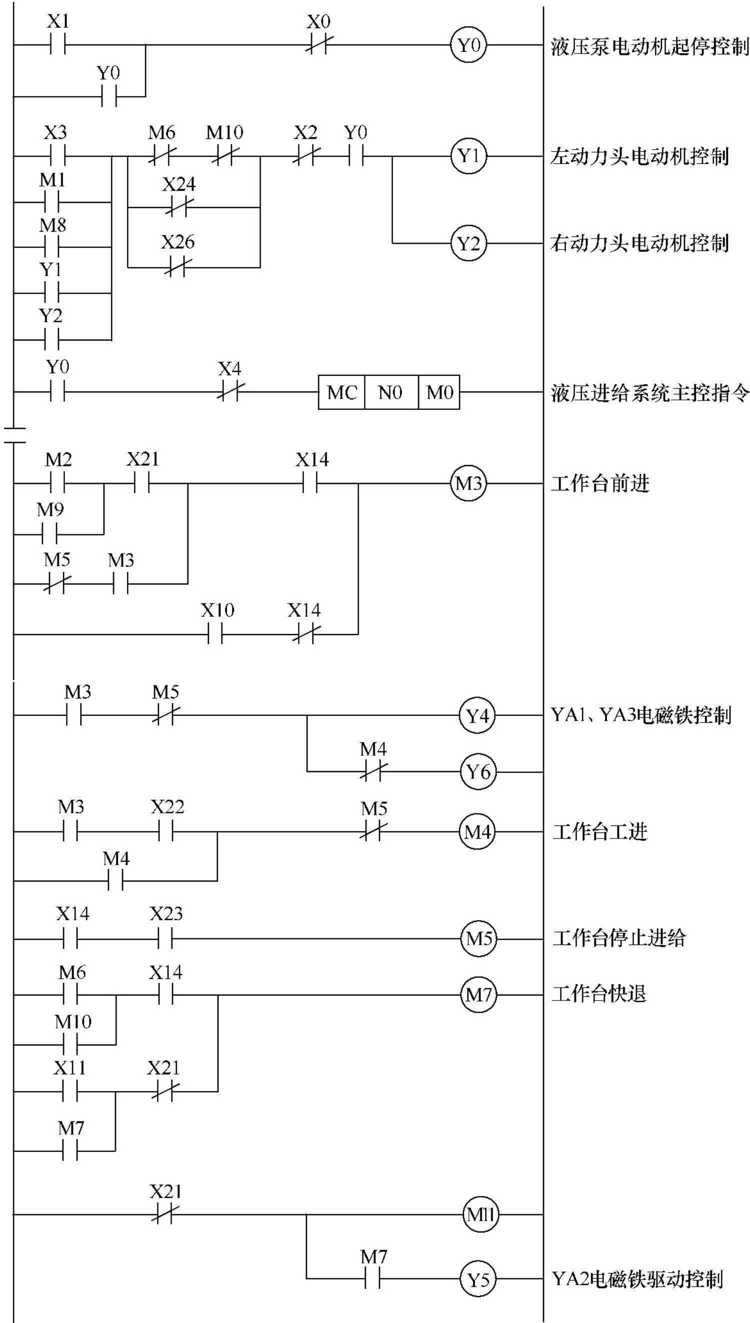
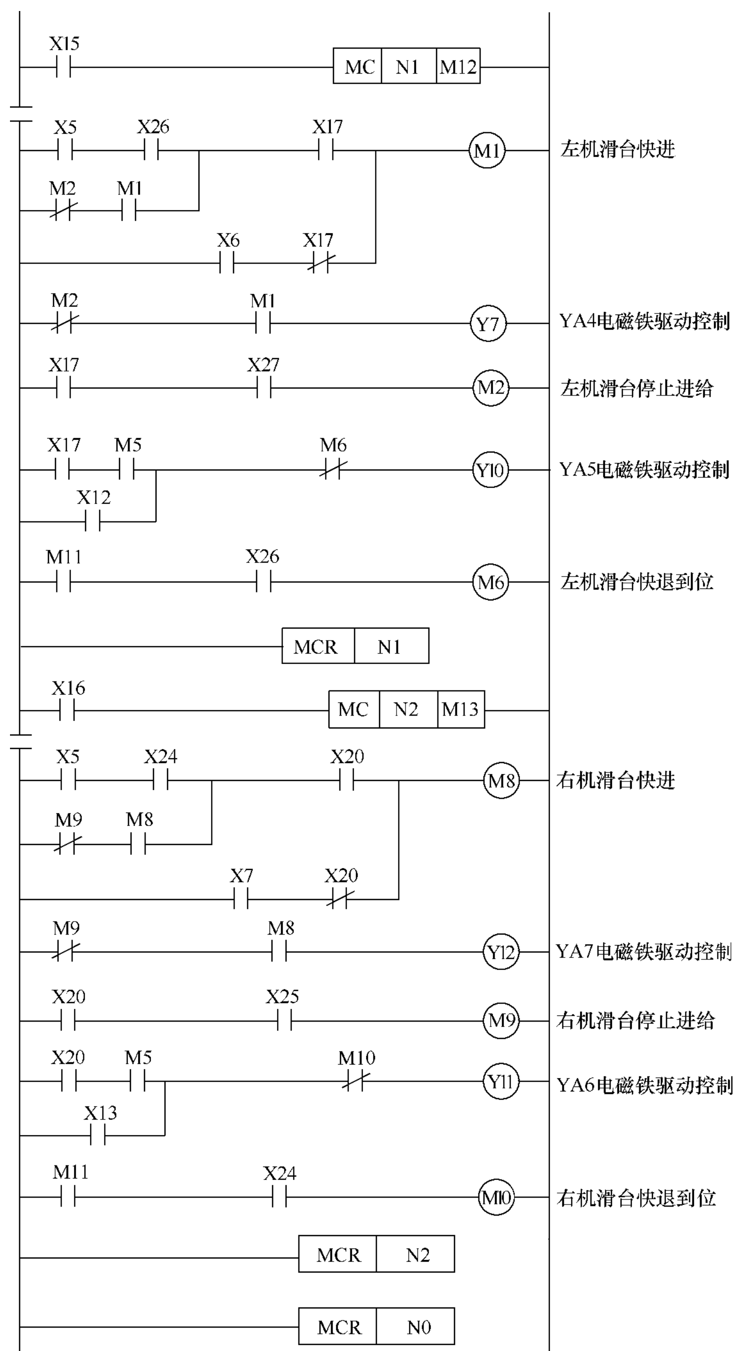

X1
X0
Y0
液压泵电动机起停控制
X3
M6
M10
X2
Y0
Y1
左动力头电动机控制
M1
X24
M8
X26
Y2
右动力头电动机控制
Y1
Y2
Y0
X4
MC
N0
M0
液压进给系统主控指令
M2
X21
X14
M3
工作台前进
M9
M5
M3
X10
X14
M3
M5
Y4
YA1、YA3电磁铁控制
M4
Y6
M3
X22
M5
M4
工作台工进
M4
X14
X23
M5
工作台停止进给
M6
X14
M7
工作台快退
M10
X11
X21
M7
X21
M11
M7
Y5
YA2电磁铁驱动控制
a)

图 12-7 PLC


X15
MC N1 M12
X5 X26 X17
M1
左机滑台快进
M2 M1
X6 X17
M2 M1
Y7
YA4电磁铁驱动控制
X17 X27
M2
左机滑台停止进给
X17 M5 M6
Y10
YA5电磁铁驱动控制
X12
M11 X26
M6
左机滑台快退到位
MCR N1
X16
MC N2 M13
X5 X24 X20
M8
右机滑台快进
M9 M8
X7 X20
M9 M8
Y12
YA7电磁铁驱动控制
X20 X25
M9
右机滑台停止进给
X20 M5 M10
Y11
YA6电磁铁驱动控制
X13
M11 X24
M10
右机滑台快退到位
MCR N2
MCR N0

b)

控制梯形图

表 12-5 中间继电器与辅助继电器对应表

继电器	KA1	KA2	KA3	KA4	KA5	KA6	KA7	KA8
代替元件	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8

1. 液压泵电动机控制

按下起动按钮SB2,输入继电器X1得电为ON,输出继电器Y0线圈逻辑回路导通,驱动负载接触器KM1线圈电路闭合,线圈得电,主触点闭合,液压泵电动机M1主电路接通起动,为系统工作做好了准备。

当按下停止按钮SB1时,输入继电器X0得电为ON,其取反触点则为OFF,输出继电器Y0线圈逻辑回路断开,驱动负载接触器KM1线圈电路断开,线圈断电,液压泵电动机M1主电路停止供油。

2. 左、右动力头电动机控制

左、右动力头电动机的起动可以手动,也可以在自动工作循环中自动起动。当需要单独调整刀具时,按下按钮SB4,输入继电器X3得电为ON,因为输出继电器Y0已经得电,所以输出继电器Y1和Y2线圈逻辑回路导通并自锁。如果转换开关SA1和SA2是闭合的,则接触器KM2和KM3的线圈回路导通,SA1和SA2按照改造前的功能,也是分别控制左、右动力头电动机是否工作。调整机床进给系统时,常常需要摘除动力头电动机。所以在正常循环工作中或者进行试切工件时,SA1和SA2是闭合的。KM2和KM3线圈电路导通后,左、右动力头电动机主电路接通,开始工作,可以进行单独控制试切工件。

自动工作循环时,当循环到左、右机滑台快速进给的同时(任意一个在快进都可以),在转换开关SA1和SA2闭合的情况下,输出继电器Y1和Y2线圈逻辑回路自动导通并自锁,接触器KM2和KM3线圈也接通得电,动力头电动机自动起动。

停止控制时,SB3是在机床调整过程中或者需要急停时的单独停止按钮。当按下SB3,输入继电器X2得电为ON,其取反触点为OFF,则驱动输出继电器Y1和Y2的线圈逻辑回路断电,对应的KM1和KM2线圈断电,电动机停止。

在自动循环过程中,当左、右机滑台退回原位状态(M6和M10得电),且压下起点行程开关SQ4和SQ6,三个条件都要满足,则左、右机滑台自动断电停止。当工作台快速后退到原位,压下行程开关SQ1时,输入继电器X21得电,取反后为OFF,则辅助继电器M11断电,驱动辅助继电器M6和M10断电为OFF,为下一次工作循环起动做好了准备。

3. 左、右机滑台自动循环进给

当接触器KM1得电,液压泵电动机工作,为左、右机进给液压滑台和工作台液压滑台的运动控制做好了准备。在PLC程序中,利用主控指令N0进行主控,当Y0

为ON且按钮SB5断开(输入继电器X4为OFF,取反触点为ON)时,主控元件接通,所控制的程序才能够执行。进行自动工作循环前的准备工作有:

1) 滑台在原位,行程开关SQ6和SQ4分别被左、右滑台压下闭合,输入继电器X26和X24为ON。

2) 液压泵电动机工作。

3) 左、右机滑台对应的工作选择转换开关闭合;SA3、SA6、SA7转换到自动循环状态,输入继电器X14、X17、X20为ON。

4) 左、右机滑台摘除,转换开关SA4、SA5闭合,输入继电器X15、X16为ON。

5) 工作台在原位,SQ1被压下,输入继电器X21为ON。

(1) 左、右机滑台快进

在自动循环准备条件充分的情况下,按下按钮SB6,输入继电器X5得电,辅助继电器M1和M8逻辑回路分别得电并自锁,分别驱动输出继电器Y7和Y12线圈逻辑回路导通为ON,驱动外部中间继电器KA4和KA7线圈电路接通,线圈得电,KA4的常开触点接通电磁铁YA4的电路,电磁换向阀YV3动作,切换液流方向,根据液压系统图可知,左机液压滑台在其液压缸的推动下快速前进。KA7的常开触点接通电磁铁YA7的电路,电磁换向阀YV4动作,切换液流方向,右机液压滑台在其液压缸的推动下快速前进。

(2) 工作台快速进给

左、右机快速进给到已经确定的终点位置时,分别压下行程开关SQ7和SQ5,则输入继电器X27和X25得电为ON,分别驱动辅助继电器M2和M9线圈逻辑回路导通,其常闭触点(取反触点)使输出继电器Y7和Y12逻辑回路断开,YA4和YA7电磁铁断电,快速进给停止。

辅助继电器M2和M9作为左、右机滑台前进到位的标志,为工作台的运动做好了准备。M2和M9的常开触点驱动辅助继电器M3线圈逻辑回路导通并自锁,M3的常开触点驱动输出继电器Y4和Y6线圈逻辑回路导通为ON,Y4和Y6分别驱动中间继电器KA1和KA3线圈电路闭合,线圈得电,KA1的常开触点闭合,驱动控制电路中的电磁铁YA1电路闭合,电磁换向阀YV1动作,KA3的常开触点闭合,驱动控制电路中的电磁铁YA3电路闭合,电磁换向阀YV2动作,根据液压系统图可知,工作台液压缸推动工作台快进。

(3) 工作台工作进给

当工作台工进到距离刀具一定位置时,压下行程开关SQ2,输入继电器X22得电为ON,驱动辅助继电器M4线圈逻辑回路导通并自锁,M4的常闭触点为OFF,切断输出继电器Y6线圈的逻辑回路,使中间继电器KA3线圈电路被切断,其常开触点断开,电磁铁YA3断电,只有YA1工作,工作台液压缸带动工件以工进速度进给,经过两个刀具的中间位置,两把刀具同时加工工件的两个端面。

（4）左、右机滑台快速后退

当工件两个端面都经过左、右刀具后，切削加工完成，工件滑台压下终点行程开关SQ3，输入继电器X23得电为ON，驱动辅助继电器M5线圈逻辑回路导通，其常闭触点（取反）断开，切断输出继电器Y4、Y6和辅助继电器M3的逻辑回路，中间继电器KA1断电，电磁铁YA1断电，前进运动停止。

另外，M5的常开触点分别接通了左、右机滑台控制回路中的输出继电器Y10和Y11线圈的逻辑回路，驱动外部负载中的中间继电器KA5和KA6线圈电路闭合，KA5得电，其常开触点闭合，使电磁换向阀YV3的换向电磁铁YA5电路接通，液压系统驱动左机滑台的液压缸快速后退；KA6得电，其常开触点闭合，使电磁换向阀YV4的换向电磁铁YA6电路接通，液压系统驱动右机滑台的液压缸快速后退。

当左、右机滑台都退回到起点以后，分别压下行程开关SQ6和SQ4，输入继电器X26和X24得电为ON，驱动辅助继电器M6和M10线圈逻辑回路接通，左、右机动力头电动机停止。

（5）工作台快退

当左、右机滑台后退到位停止后，M6和M10得电，其常开触点驱动辅助继电器M7逻辑回路接通并自锁，M7驱动输出继电器Y5线圈逻辑回路导通，Y5得电为ON，驱动外部负载中的中间继电器KA2电路闭合，KA2线圈得电，其常开触点闭合，驱动电磁铁YA2得电，液压系统驱动工作台液压缸快速后退，当后退到起点位置时，压下行程开关SQ1，输入继电器X21得电为ON，其常闭触点为OFF，辅助继电器M7和M11线圈逻辑回路断开，输出继电器Y5、中间继电器KA2、电磁铁YA2断电。工作台液压缸后退停止在SQ1位置，为下一次工作循环做好准备。

4. 左、右机滑台的调整

组合机床除了在正常工作时为自动循环外，在刀具更换、机床检修、零件试切等状态时，还需要进行单独或联合调整控制。

（1）左、右机刀具调整

在调整过程中，不需要左机刀具转动，可以将转换开关SA1断开，尽管逻辑回路中输出继电器Y1可能得电，但无法接通接触器KM1线圈回路，左机动力头主电路无法接通，从而实现对左机的摘除。右机刀具调整相同，只是利用转换开关SA2完成。

刀具的调整控制主要用于刀具更换或者试切工件时，只有调整的刀具工作，其他未调整的刀具需要摘除。

（2）工作台调整

将转换开关SA3置于断开状态，输入继电器X14断电为OFF，其常闭触点为ON，若控制工作台前进，则按下调整按钮SB9，输入继电器X10为ON，辅助继电

器 M3 线圈逻辑回路点动接通，M3 驱动输出继电器 Y4 和 Y6 逻辑电路接通，但不能自锁，于是中间继电器 KA1 和 KA3 线圈得电，电磁铁 YA1 和 YA3 电路闭合，工作台液压缸快速前进。当控制工作台后退时，则按下按钮 SB10，输入继电器 X11 得电为 ON，辅助继电器 M7 得电并自锁，驱动输出继电器 Y5、中间继电器 KA2、电磁铁 YA2 得电，液压系统推动工作台快速后退到 SQ1 起点位置时，X21 得电，快退结束。

工作台调整常用于调整各个行程开关的位置，判断机床的各个部分是否正常，或者中断切削以后的恢复等状况。

（3）左机滑台调整

在调整中如果不需要左机滑台工作，则将转换开关 SA4 断开，X15 为 OFF，主控指令 N1 条件不能满足，后面的逻辑程序无法执行而被摘除，右机滑台则将转换开关 SA5 断开。

要确定行程的起点和终点位置，特别是终点位置的调整，或者加工中断后的恢复，都需要点动控制滑台前进或者后退。

对于左机滑台，调整控制如下：按下按钮 SB7→输入继电器 X6 为 ON→辅助继电器 M1 得电 →输出继电器 Y7 得电→中间继电器 KA4 得电 →电磁铁 YA4 得电→左机滑台快进；按下按钮 SB11→输入继电器 X12 为 ON→输出继电器 Y10 得电→中间继电器 KA4 得电 →电磁铁 YA5 得电→左机滑台快退。由于都没有自锁，运动状态为点动。

对于右机滑台，按下按钮 SB8→输入继电器 X10 为 ON→辅助继电器 M8 得电 →输出继电器 Y12 得电 →中间继电器 KA7 得电 →电磁铁 YA7 得电→右机滑台快进 ；按下按钮 SB12→输入继电器 X13 为 ON→输出继电器 Y11 得电 →中间继电器 KA6 得电 →电磁铁 YA6 得电→右机滑台快退。由于都没有自锁，运动状态为点动。

本机床设计中，没有考虑液压夹紧部分的控制。在实际设计过程中，要根据夹紧机构的需要确定 PLC 的改造内容。

5. 总结

1）将转换开关 SA1、SA2 和热继电器触点直接连接在输出电路中，逻辑关系简单，并且节约了输入端口。

2）将所有输入电磁铁通过中间继电器来控制，不直接将电磁铁与 PLC 输出端口连接，这是保护 PLC 输出端口，解决感性负载控制的一种较好的方法。特别是工作频繁、起动功率大、一个 COM 端的电磁铁可能多个同时起动或工作的感性负载，非常有必要采用这种方法。

3）直接延用继电器控制系统中的逻辑关系，将原来的中间继电器用辅助继电器代替，可以使控制逻辑更加清楚。

第 13 章　精镗孔组合机床控制系统

13.1　精镗孔组合机床的继电器控制系统设计

13.1.1　精镗孔组合机床的工艺特点

1. 工艺特点

精镗孔组合机床主要是完成一个或者一组高精度孔的镗削加工，其机床的主要结构形式与一般组合机床的结构相比变化不大，但是需要考虑两个主要的问题，一个是刀具的定位，另一个是刀具与工件孔位置错开的让刀，并且加工孔的形式不同，让刀的时刻也不同，需要在控制过程中加以考虑。

（1）主轴定位

所谓主轴定位，是镗刀杆上镗刀的定位，就是使镗削主轴上的镗刀在每次加工结束后都处于规定的方位上，然后再向被加工零件引进或者退出。为了减少主轴传动系统惯性的冲击和获得准确的定位，目前均采取低速的定位方法，即主轴停止制动后，再低速转动，以便定位。

在镗削工序中，遇到下述情况时，主轴便需要定位。

1）用一根镗杆上排在同一方向的多把镗刀，同时加工多层壁上的直径相同的同轴线上的孔。

2）已加工表面上不允许留有刀痕时，主要指精加工后的表面。

3）要求加工的孔径大于导套直径，而镗刀又必须通过导套上的刀槽进出。

4）要求加工的内壁孔径大于外壁孔径。

5）刀具不定位有碍于工件装卸。

主轴的定位方式分为自动和手动两种。通常在机床操作比较简单、生产效率和自动化要求不高时，宜采用手动定位，反之应采用自动方式定位。

为了实现主轴的定位，需要在主轴上设计安装一个定位机构。目前，定位机构的形式有多种，为了便于理解，主要介绍采用定位钩实现定位的机构，其结构示意图如图 13-1 所示。定位机构工作过程是：发出加工指令后先将定位钩松开，主轴起动，进行正常旋转加工；加工结束主轴停转时，设法使定位钩落入定位盘的定位槽内，实现定位要求；定位钩的松开、钩入由电磁机构或者液压机构实现。下面主要介绍电磁机构控制定位钩的运动。在主轴转动前，先让交流电磁铁得电，拉动定位钩，使定位钩脱开定位槽，主轴才转动；当主轴转动结束后，先制动主轴，然后切断交流电磁铁，定位钩在弹簧作用下压在主轴定位盘外圆上，同时接通电磁离合器

和定位电动机，由定位电动机通过电磁离合器带动主轴慢速反转，当定位钩到达定位槽位置时，定位钩压入槽中定位，然后将定位电动机断电，定位结束。行程开关主要检查定位钩脱开和压入的两个位置。

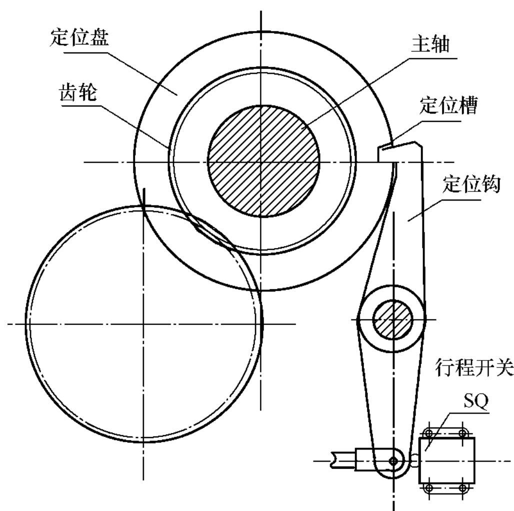


图 13-1　主轴定位机构示意图

（2）让刀

主轴定位后，刀尖位置确定，刀具要能够顺利引入和退出，还需要一个让刀环节。即在专用镗床夹具上应设置使工件对镗刀水平偏移或升降一个让刀量的机构，即让刀机构，以便刀具能顺利通过工件孔。工件大小不同、孔的位置和大小不同，让刀机构动作的时刻有所不同，机械加工循环过程也有差别。具体情况可分为以下几种情况：

1）被加工孔径大小呈阶梯状，孔径尺寸相差不大。根据被加工孔的个数在镗杆上相应装夹数把镗刀，镗杆也可以根据需要设计成阶梯状，在完成快进-工进-快退的同时，几个孔的镗削可一次完成。

2）如果被加工孔径大小呈阶梯状，孔径尺寸相差较大，这时为了保证镗孔加工的质量，使镗孔的切削速度在合理的范围内，可以选用双速电动机或者采用变频器的方法，在其中一个孔加工结束后紧接着变换转速加工另外一个孔。加工过程为快进—工进 1—工进 2—快退。

3）被加工孔大小虽然呈阶梯状，但孔径大小相差很小，相当于切削余量，里面的孔需要开倒角，这时需要采用让刀的方法，先使镗杆先伸进，然后再一起镗削。

4）被加工孔的直径相同，如果同一轴线上只有两个孔，可以先镗好一边的孔再镗另一个孔，形成快进—工进—快进—工进—快退的工作循环。也可以采用让

刀的方法，两边的孔一同进行切削加工。

5）如果被加工孔直径相同，且数量较多，则只有采用让刀的方法，镗杆先伸进到切削位置，然后各个孔同时镗削。

(3）实现让刀的途径

一般情况下，专用组合镗床的镗杆在Y、Z方向是固定的（假设进给方向为X），要实现让刀，使镗杆中心相对于被加工孔的中心有一个偏移量，只有使工件运动实现偏移，工件可以在Y方向或Z方向位移，大多数箱体零件是以底面支撑夹紧的，工件在Z方向偏移为向上偏移，其主要缺陷是让刀机构需要克服工件的自重。如果工件在Y方向偏移，尤其是工件向后拉（面向操作者的一侧偏移），在有些情况下也是比较适宜的。以工件向上偏移为例，如图13-2所示。

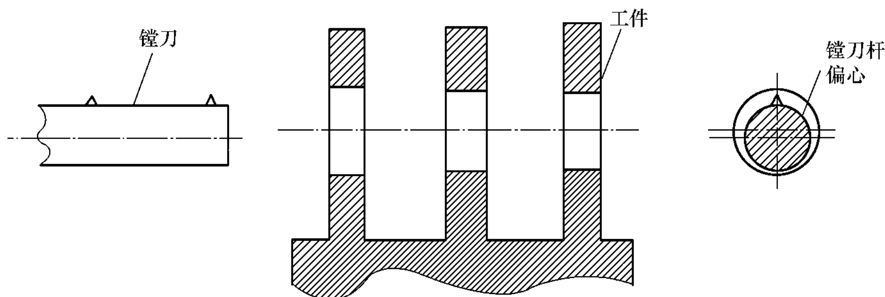


图13-2　工件让刀示意图

2．加工过程控制

根据前面对镗削加工工艺特点的分析，要精镗图13-2中箱体零件上的同轴孔。为了节约加工时间，需要多个孔同时加工，并且要求精加工，退刀时不要在零件表面上留下刀痕，所以需要在进刀过程和退刀过程中实现让刀，其加工过程控制如图13-3所示。先将零件装到夹具上面的定位面上，并靠在侧面的预定位面上，预定位面的目的是方便伸缩定位销能够插入定位孔，然后工件被液压缸抬起，实现一个让刀偏移量，刀具在液压滑台带动下快速进给。当各把刀具进给到距离加工孔端面一定的位置时，工件被放下，伸缩销上移，插入工件定位孔中，夹紧液压缸动作，夹紧工件，待工件夹紧后，刀具开始转动，并在液压滑台带动下作工作进给，进行工件的加工；当工件加工完毕，滑台应该停止进给，刀具准停，实

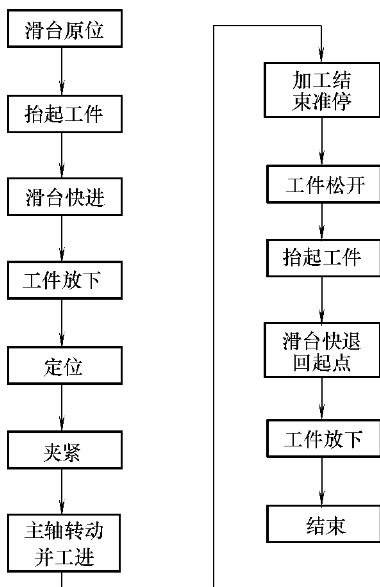


图13-3　加工循环过程流程图

现刀尖朝上以便后退不刮伤工件表面，然后工件夹紧松开，液压缸将工件抬起，液压滑台带动刀具快退，实现让刀，当液压滑台后退到起点位置时，一次加工循环过程就结束。

3. 控制要求

根据上述对精镗孔工艺过程的描述，对于既有主轴定位，又需要让刀运动的组合机床，其控制要求包括以下几点：

1）要求动力头在快进和快退时主轴不旋转；加工前工件抬起，加工时工件落下；工件的抬起和落下、夹紧和松开等动作均由液压装置来实现。

2）动力头的进给和主轴的旋转是由两个电动机分别带动的，在开始切削及加工过程中，进给运动与主电动机应保证严格的互锁，任何一个电动机断电，均不允许工作。

3）只有工件松开后，压力继电器发出信号，才允许工件抬起。只有工件在抬起状态下，压下了行程开关，动力头才允许快进或者快退。

4）主轴在定位状态下才能快进或者快退，只有撤销主轴定位时，才能起动主轴旋转和工进。

5）在动力头加工过程中，按向后按钮时，动力头不能立即退回，而应该先停止进给，进行主轴定位，并松开和抬起工件，然后才允许动力头快速退回。

6）夹具的夹紧定位是自动进行的，需要检查夹紧和定位的完成信号。当工件定位好后，压下了对应的行程开关才能夹紧。只有在工件夹紧后，压力继电器发出信号，动力头才能开始工进进行切削。

7）液压系统采用变量泵时，为保护液压泵，一般都有卸荷电磁铁。卸荷电磁铁的作用是：当各个液压部件未工作时，给液压泵打出的油提供一条回油油路，保证液压泵不因过载而损坏。对卸荷电磁铁的要求是：只要液压装置参与工作，卸荷电磁铁就必须停止卸荷。

8）液压泵电动机工作以后，动力头才能起动。

13.1.2　精镗孔组合机床的液压系统设计说明

液压系统是组合机床的主要组成部分。液压系统与机械、电气相配合，实现机床的工作循环。液压系统设计是否合理，直接影响机床的工作性能。本组合机床设计了只有一个变量泵的滑台进给、工件抬起和夹紧液压系统，与机械部分相配合，动作顺序为抬起液压缸，抬起工件，滑台快速进给，工件落下，夹紧液压缸，夹紧工件，完成加工后，工件夹紧松开，然后抬起工件，最后滑台快退，机床复位。因此主要的液压系统设计包括滑台进给油路设计、定位夹紧液压油路设计和抬起液压油路设计，其液压系统图如图 13-4 所示。

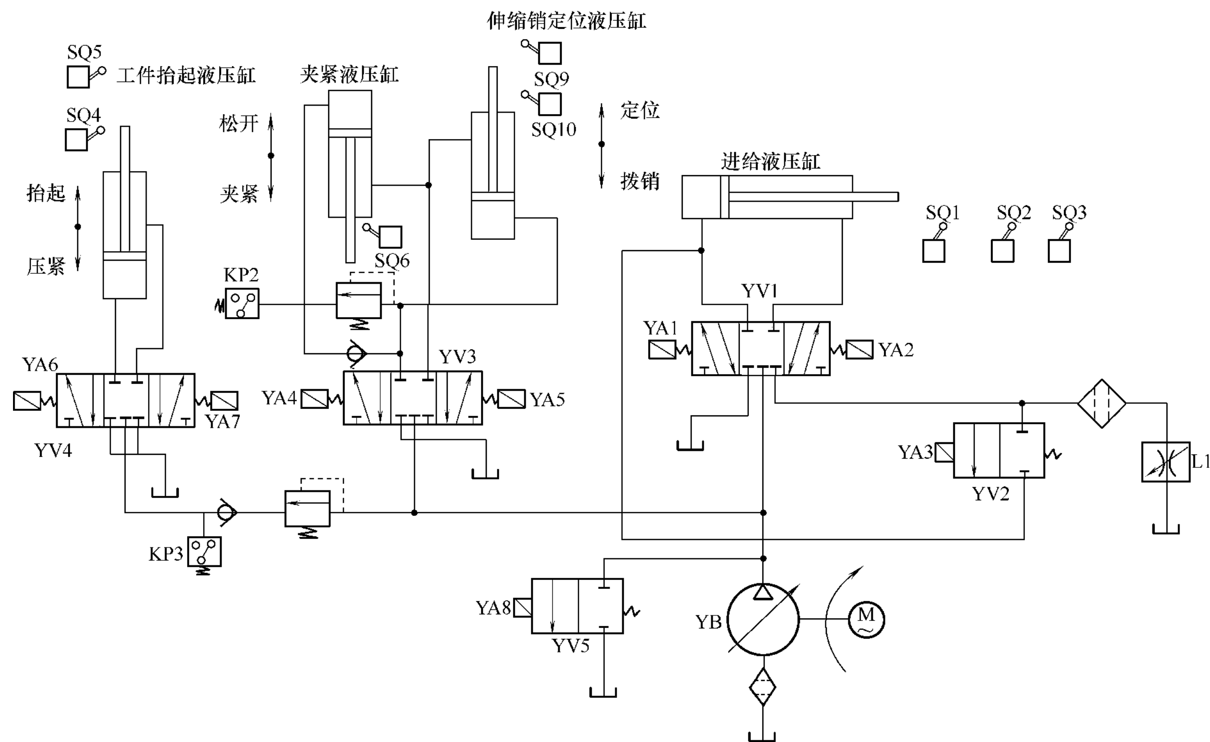

伸缩销定位液压缸
SQ9
SQ10
定位
拔销
SQ5
工件抬起液压缸
SQ4
夹紧液压缸
松开
夹紧
抬起
压紧
SQ6
KP2
进给液压缸
SQ1
SQ2
SQ3
YV1
YA1
YA2
YA6
YA7
YV4
YA4
YA5
YV3
YA3
YV2
L1
KP3
YA8
YV5
YB
M

图 13-4 液压系统图

（1）工件抬起油路的设计

工件抬起是由抬起液压缸完成，在设计这一部分时，要考虑滑台快速进给时主油路对它的影响。由于抬起时间很短，也不用考虑持续保压的问题。抬起工件时，电磁铁 YA6 得电，三位五通电磁换向阀 YV4 在左位，液压泵排出的油由主油路经减压阀、单向阀、三位五通阀 YV4，流向抬起液压缸下腔，工件抬起后压力继电器发出信号，滑台快速进给。单向阀的作用在于，消除因滑台快速进给时造成主油路压力下降而对抬起油路造成的影响。

当滑台快进到位后，需要将工件放下，此时电磁铁 YA7 得电，电磁换向阀 YV4 在右位，液压泵的压力油经过减压阀、单向阀、三位五通阀 YV4 到达抬起液压缸的上腔，活塞杆下移，将工件放下。

（2）定位夹紧油路的设计

一般定位、夹紧装置均要求先定位后夹紧。因为未定位好就夹紧，不可能保证加工精度，并会损坏定位装置，因此液压系统应该保证定位、夹紧的顺序，并且在加工过程中应保证工件不能移动，以免损坏刀具或工件，这就需要有足够的夹紧力；但对于一些易变形的工件，又要求夹紧力不要过大（尤其在精加工时），否则会影响加工质量，所以夹紧力应适当。为了使动力部件在工件夹紧后才开始切削，所以在定位、夹紧液压系统中一般都采用压力继电器发出夹紧信号。由于工件的加工是在夹紧后进行的，其工作时间长，工件不得有松动，因此对夹紧油路的要求是功率损失小，保压时间长。另外，在工件夹紧后，滑台有快进动作，此时主油路压力下降，因此还要求夹紧油路的压力不得受主油路压力下降的影响。

在夹紧工件时，电磁铁 YA4 得电，电磁换向阀 YV3 在左位，液压泵排出的油由主油路经减压阀、单向阀、三位五通阀，先流向定位液压缸下腔，推动定位伸缩销上移，对工件实现定位；在定位油路和夹紧油路之间有一个顺序阀，由顺序阀保证了定位与夹紧动作的顺序；当定位缸向上运动到位后，压力增加，压力油经过顺序阀流入夹紧液压缸无活塞杆腔，推动活塞向下移动，夹紧工件，工件夹紧后压力继电器发出信号，机床开始滑台快速进给及其他加工动作。如前所述，单向阀消除主油路压力下降的影响，加上蓄能器起持续补油保压，保证工件夹紧可靠。

在工件松开的过程中，电磁铁 YA5 得电，电磁换向阀在右位，压力油经过电磁换向阀 YV3 分别流入定位液压缸的有杆腔和夹紧液压缸的有杆腔，定位销的缩回和夹紧机构的松开几乎同时进行。

（3）滑台进给油路的设计

液压滑台的进给油路实际上为一次进给油路，在前面已经有描述，在此不再叙述。

根据控制要求和加工过程，可以得到各元件动作顺序表见表 13-1。

表 13-1 电气动作顺序表

工步	电磁换向阀线圈通电状态							转换开关
	YA1	YA2	YA3	YA4	YA5	YA6	YA7	
工件抬起						+		SB5
滑台快进	+		+			+		SQ5
工件放下							+	SQ2
工件定位夹紧				+				SQ4
滑台工进	+		−	+				SQ9
进给停止	−							SQ3
主轴准停与工件松开				−				SQ3
工件抬起						+		SQ6
刀具快退		+						SQ10
工件放下								SQ1
停止								SQ1

13.1.3 电路控制设计与说明

电气元件符号及功能说明见表13-2。

表 13-2 电气元件符号及功能说明表

电气元件	名称及用途	电气元件	名称及用途
M1	液压泵电动机	KA1～KA11	中间继电器
M2	镗削头电动机	KM2、KM3	镗削头正、反接用接触器
M3	主轴定位低速电动机	FR1～FR3	电动机热继电器
KM1	液压泵电动机起动接触器	YA1～YA3	滑台动作控制用电磁换向阀的电磁铁
SA2	动力头调整用转换开关	YA4、YA5	夹紧、定位用液压缸控制电磁铁
SB10	镗削头手动停止按钮	YA6、YA7	工件抬起放下用液压缸控制电磁铁
SB1	总停开关	SB3、SB4	液压滑台前进、后退按钮
SB2	液压泵电动机起动开关	SB5、SB6	抬起、放下工件
SA3	滑台摘除选择开关	SB7、SB8	工件夹紧、松开按钮
SQ6	工件松开用行程开关	SQ1～SQ3	滑台运动中的行程开关
TC	控制变压器	SQ9、SQ10	伸缩销用行程开关
VC	整流器	FU1～FU6	熔断器
KP1、KP3	压力继电器	SQ4、SQ5	工件抬起、放下用行程开关
SA1	滑台手动、自动转换开关	SQ7、SQ8	主轴定位机构用行程开关

1. 主电路

电动机主要包括液压泵电动机 M1、镗削头电动机 M2、主轴定位低速电动机 M3，其中接触器 KM1 控制液压泵电动机主电路的接通与断开；接触器 KM2 控制电动机 M2 的正转，而接触器 KM3 控制电动机 M2 的反转，主要在主轴停止时，实现反接制动，以便低速电动机工作；接触器 KM4 控制电动机 M3 的转动，主要在低速定位时工作，由 M3 带动主轴作慢速反转，让定位钩进入定位槽中。精镗孔组合机床电气原理图如图 13-5 所示。

2. 控制过程

精镗孔组合机床的电气控制主要分为自动工作循环控制和调整控制两种方式。

(1) 自动工作循环控制

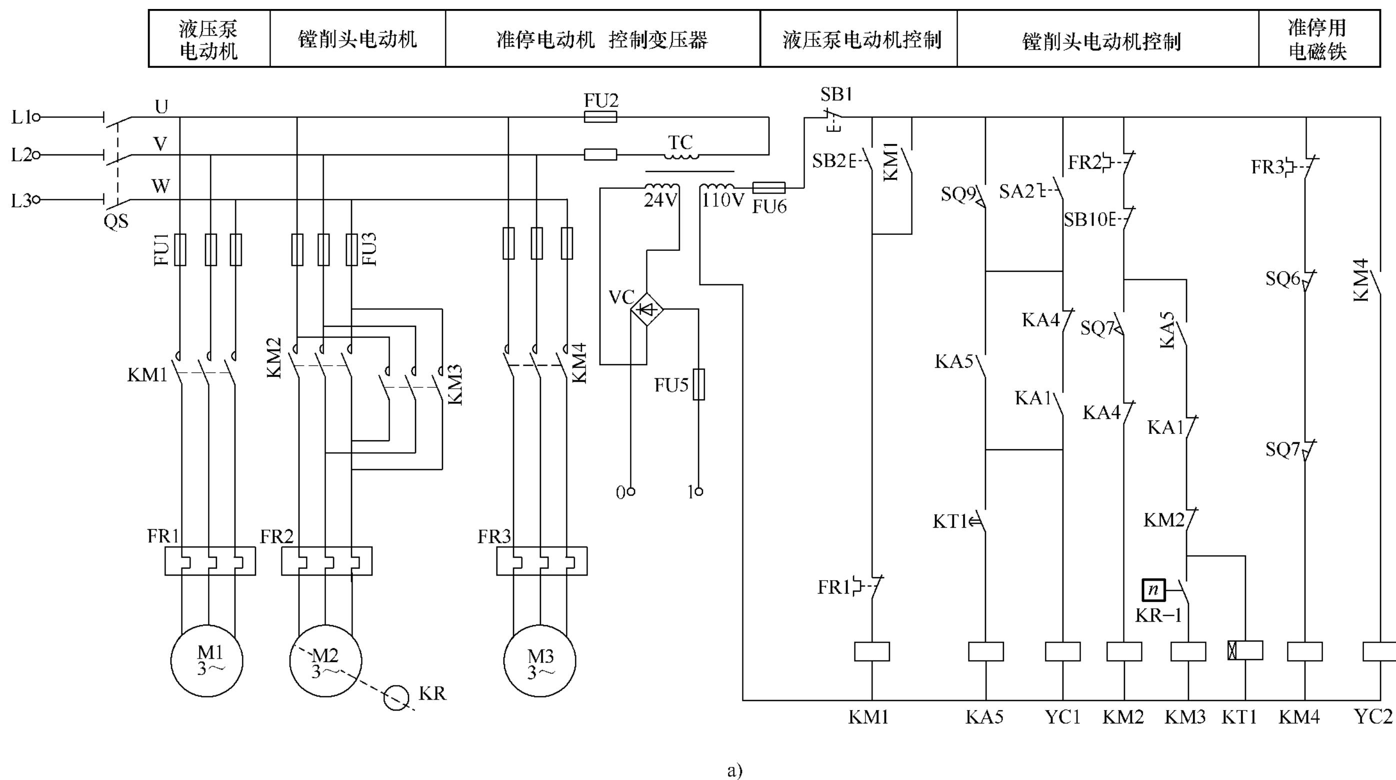
转换开关 SA3 闭合，SA1 置于位置 2，SA2 断开时，控制系统处于自动工作循环状态，其工作控制流程如图 13-6 所示。

1) 工件抬起。液压滑台处于原位，行程开关 SQ1 被压下，主轴处于停止和定位状态，刀尖向上，行程开关 SQ8 被压下，按下起动按钮 SB5，中间继电器 KA8 线圈得电并自锁，其常开触点闭合，电磁铁 YA6 线圈得电，电磁换向阀 YV4 处于左位，工件抬起，液压缸向上运动，抬起工件，实现让刀。与电磁铁 YA6 线圈并联的 KA8 线圈主要作用是拓展 YA8 的触点，实现自锁。

2) 滑台快进。工件抬起到位后，压下行程开关 SQ5，此时刀尖处于定位状态，SQ8 被压下，并且滑台在原位，行程开关 SQ1 被压下，所以中间继电器 KA1 线圈得电并自锁，电磁铁 YA1、YA3 得电，电磁换向阀 YV1、YV2 处于左位，压力油驱动液压滑台快进，刀具刀尖向上，偏心通过工件孔，快进到距离工件孔端面一定位置处。

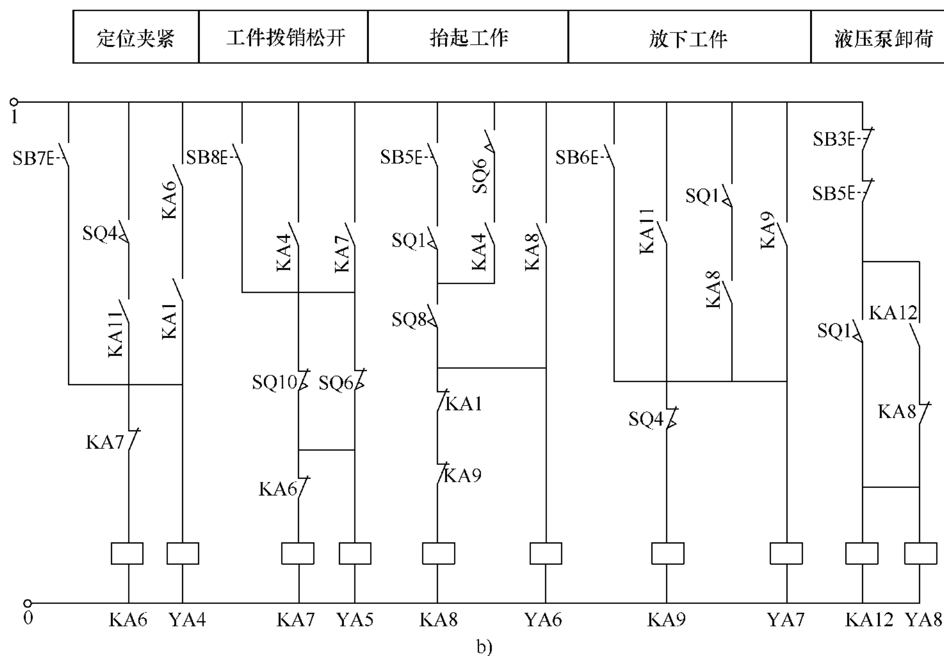
3) 工件放下。当滑台带动刀具前进到位以后，压下行程开关 SQ2，中间继电器 KA11 线圈得电并自锁，表示一个暂停进给的状态，这个状态指滑台快进到位后工件需要放下，并且需要定位夹紧。KA11 的常闭触点断开，电磁铁 YA1、YA3 断电，滑台和刀具不再前进，KA11 的常开触点闭合，驱动中间继电器 KA9 线圈得电并自锁，电磁铁 YA7 得电，电磁阀 YV4 的阀心处于右位，工件抬起，液压缸活塞下移，将工件放下。KA9 得电表示工件处于放下状态。

4) 工件定位。工件放下后，压下行程开关 SQ4，中间继电器 KA6 线圈得电并自锁，KA6 的常开触点使电磁铁 YA4 得电，电磁换向阀处于右位，定位液压缸带动伸缩销向上运动，插入到销孔中，实现定位，定位到位后，行程开关 SQ9 被压下，同时压力增加，通过顺序阀的作用，工件夹紧延后动作。KA6 得电，表示工件处于定位状态。

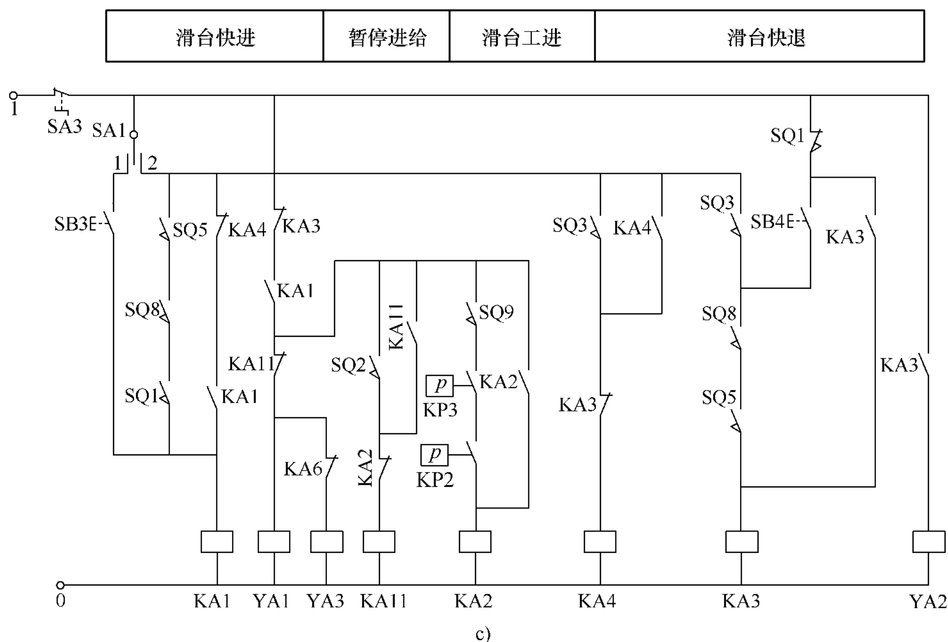


a)

图13-5 精镗孔组合机床电气原理图



b)



c)

图 13-5　精镗孔组合机床电气原理图(续)

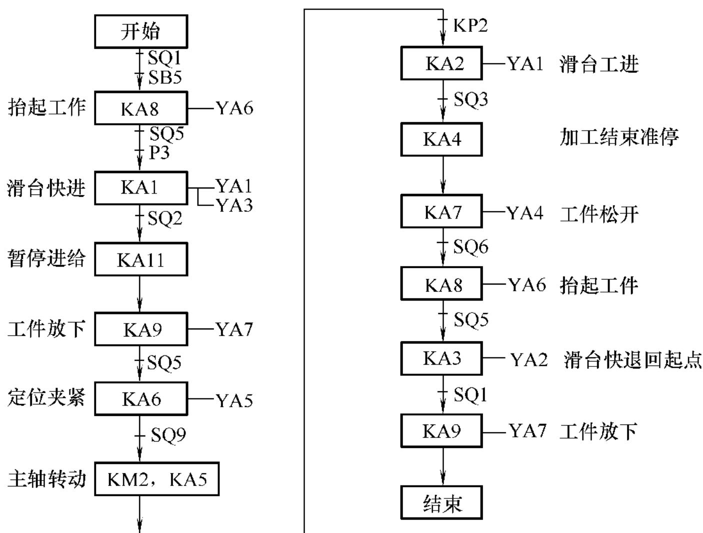


图 13-6 自动工作控制流程图

5）工件夹紧。工件定位后，夹紧液压缸动作，带动夹紧机构运动，夹紧工件，夹紧液压缸上腔压力逐步增加，当压力增大到压力继电器 KP2 的整定值时，表示工件夹紧，压力继电器的常开触点闭合。同样，为了保证抬起缸下移到位，通过压力继电器 KP3 检测到压力足够，其常开触点闭合，表示定位夹紧结束，驱动中间继电器 KA2 线圈得电并自锁，KA11 断电，KA6 的常闭触点断开，使 YA3 不能得电，电磁铁 YA1 得电，滑台工进。

6）刀具转动进给。当工件放下、定位完毕时，主轴就可以转动，行程开关 SQ9 被压下。松位电磁铁 YC1 和继电器 KA5 得电并自锁，松位电磁铁 YC1 通过传动机构将定位钩拉出并压下行程开关 SQ7，SQ7 的常开触点闭合，接通电动机 M2 正转的接触器 KM2，主轴电动机起动旋转。因为 KA2 得电，切断 KA11 的线圈电路，YA1 得电，带动滑台进给，对工件孔进行镗削加工，进给速度的大小由节流阀 L1 调整。

7）加工完毕。当工件加工完毕，滑台压下行程开关 SQ3，驱动中间继电器 KA4 线圈得电并自锁，转入刀具准停。

8）刀具准停。KA4 常闭触点断开，切断接触器 KM2 的线圈电路和 KA1 的线圈电路，KM2 和 KA1 的常闭触点闭合，使 KA5 线圈得电，KA5 的常开触点也闭合，接通接触器 KM3 线圈和时间继电器 KT1 线圈的电路，KM3 线圈得电，其主触点接通使主轴电动机 M2 反接制动，当主轴确实停止转动后，KT1 延时断开的常闭触点断开，切断 KA5 和 YC1，定位钩在弹簧作用下落下并放开限位开关 SQ7，SQ7 的常闭触点闭合，从而接通接触器 KM4 线圈电路，定位电动机转动，离

合器 YC2 得电，将定位电动机与主轴连接，带动主轴和定位盘反转，寻找定位。当定位钩落入定位槽后，将 SQ8 压下，KM4 和 YC2 断电，主轴准停定位结束。

9）工件松开。KA4 常开触点闭合，中间继电器 KA7 线圈得电并自锁，其常闭触点断开，驱动中间继电器 KA6 线圈电路断开，YA4 断电，YA5 得电，电磁换向阀 YV3 处于右位，伸缩销液压缸带动销下移，夹紧液压缸松开夹紧机构，当伸缩销液压缸下移到位后，行程开关 SQ10 被压下，夹紧液压缸松开到位后，SQ6 被压下，此时中间继电器 KA7 断开，YA5 断电。

10）工件抬起。当 SQ6 被压下，其常开触点闭合后，由于 KA4 仍然得电，所以中间继电器 KA8 线圈得电并自锁，常开触点闭合，驱动电磁铁 YA6 得电，抬起液压缸向上将工件抬起，将行程开关 SQ5 压下，此时刀具处于定位状态，SQ8 常开触点闭合，所以接通中间继电器 KA3 线圈电路，其常闭触点断开，KA4 线圈断电。

11）刀具快退。KA3 的常开触点闭合，接通了电磁铁 YA2，电磁换向阀 YV1 处于右位，滑台快退，快退到原位后，SQ1 被压下，常闭触点断开，KA3 线圈断电，YA2 断电，主轴和滑台停止后退。

12）工件放下。当滑台退回原位后，压下行程开关 SQ1，SQ1 的常开触点闭合，此时工件还处于抬起状态，KA8 得电，其常开触点闭合，所以驱动中间继电器 KA9 和电磁铁 YA7 线圈得电并自锁，KA8 和 YA6 线圈断电，抬起液压缸向下运动，工件放下；当工件放下后，压下行程开关 SQ4，则 KA9 和 YA7 线圈断电，加工结束。

（2）调整控制

1）主轴的定位调整。SA2 闭合，将行程开关 SQ9 短接，当按下按钮 SB3 时，KA1 得电，就可以使 KA5 和 YC1 得电并自锁，将定位钩拉出，压下行程开关 SQ7，接触器 KM2 得电并自锁，镗削头电动机电路接通，主轴旋转；当按下停止按钮 SB10 时，接触器 KM2 线圈断电，放开按钮 SB10，则接通接触器 KM3 线圈，对镗削头电动机进行制动，同时 KT1 得电，经过延时后 KA5 断电，YC1 断电，将定位钩放开，SQ7 复位，由于 SQ8 还没有被压下，所以 SQ8 的常闭触点闭合，接通了 KM4 和 YC2，定位电动机反向转动，使得定位钩落入到定位槽中；当定位钩落下后 SQ8 压下，KM4 线圈电路断开，定位结束。

2）滑台的调整。将 SA1 置于位置 1 时，按下按钮 SB3，则中间继电器 KA1 线圈得电，但不能自锁，此时接通电磁铁 YA1、YA3 线圈电路，使进给液压缸前进，放开按钮 SB3，则 KA1 断电，滑台停止。当滑台在中间停止时，可以按下按钮 SB4，接通中间继电器 KA3 线圈电路，电磁铁 YA2 得电，液压滑台快退回原位，不过要求此时的抬起液压缸为抬起状态，压下 SQ5，同时主轴刀具处于定位状态，可避免后退时刀具与工件相撞。

3）定位夹紧和工件抬起调整。将转换开关 SA3 断开，可以将进给电路摘除，以便对定位夹紧和工件抬起控制进行单独的调整。当按下按钮 SB7 时，中间继电

器KA6线圈电路得电并自锁，电磁铁YA4得电，液压回路能够先驱动定位缸运动，实现定位销向上运动；当定位缸运动到位后，油压升高，通过顺序阀使夹紧液压缸运动，以实现工件夹紧；当按下按钮SB8时，中间继电器KA7和电磁铁YA5得电并自锁，以实现定位缸的下移和夹紧液压缸的后退，松开工件。

当液压滑台在原位，且刀具处于准停状态时，按下按钮SB5，则中间继电器KA8和电磁铁YA6得电，工件抬起缸工作，将工件抬起。按下按钮SB6时，则能够接通中间继电器KA9和电磁铁YA7，工件抬起缸下移，放下工件。

4）卸荷控制。为了实现卸荷，采用电磁阀YA8和中间继电器KA12来完成，当液压滑台完成了一个周期的循环动作回到原位后，液压系统应该处于卸荷状态，在离开原位后，卸荷停止，液压系统处于工作状态。所以当SQ1被压下、工件被放下，并且KA8断电的情况下，KA12和电磁铁YA8得电并自锁，接通卸荷回路。当循环开始，按下按钮SB5，或者在进行机床前进调整时按下按钮SB3，卸荷KA12和YA8线圈断电，停止卸荷。因为当按下按钮SB5时，循环开始，需要液压系统为抬起液压缸供油，另外在非自动循环状态下可能调整机床，让滑台前进或者后退，此时进给液压系统工作，卸荷回路停止工作。

13.2　精镗孔组合机床的PLC控制设计

针对前面介绍的继电器—接触器控制方式，可以在不改变机械结构和基本控制思路的前提下直接用PLC进行改造，其中的难点问题是主轴的准停。由于有机械结构的保证，控制逻辑比较简单，改造起来比较容易。但为了能够更好地利用新技术解决生产中的问题，简化机械结构和电气控制电路，提高控制性能，结合精镗孔组合机床控制中的主轴定位控制要求，本书采用PLC、变频器以及编码器相结合的方式实现。由PLC来实现电动机、液压系统的控制，变频器实现主轴转速的变化控制，编码器与PLC的高速计数相结合实现主轴的位置控制。其基本控制原理是，通过变频器控制镗削头电动机的转速，实现在正常切削时的相对高速转动，另外需要实现在主轴定位控制前的低速转动以及制动控制，通过编码器向PLC反馈主轴的转动位置，以便及时发出制动信号，保证主轴上刀尖位置朝上。PLC、编码器和变频器相互之间的具体关系和要求如下：

1. 变频器

1）需要实现主轴切削加工时的切削速度，利用变频器的多段频率选择工作频率，并设定从静止到正常转速之间的加速时间。

2）当主轴达到切削需要的转速后，液压滑台才能工进。

3）利用变频器代替低速电动机，实现定位制动前的低速转动。也需要设定从正常切削到低速转动之间的减速时间。

4）当主轴转动到一定角度时，PLC 发出制动信号，需要变频器实现准确停止。

变频器需要实现的速度变化曲线如图 13-7 所示。选择富士变频器，考虑主电动机功率不大，制动电阻选择变频器自带形式的，大小不需要进行计算。

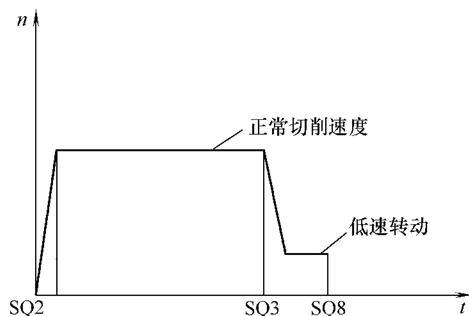


图 13-7　速度变化曲线

2. 编码器

编码器是一种将旋转位移变换成一连串数字脉冲信号的传感器，用来测量角度（角位移）。编码器按功能和结构分为绝对型编码器和增量型编码器，绝对型编码器结构复杂，价格较贵，所提供的是代表绝对位置的二进制代码；增量型编码器结构相对简单，价格低廉，随着主轴转动的进行，提供的是一系列脉冲，转轴转过一定的角度，就产生一个脉冲。增量型编码器一般给出两种方波，电气相位差为 90°，这两种方波称为通道 A 和通道 B。任何一个通道的读数都能给出与转速有关的信息，同时通过 A、B 两通道的相位得到旋转方向的信息。

在机械位置测量、机械传动控制中经常用到增量型旋转编码器来检测位置。旋转编码器发出的是脉冲信号，若得到它们发出的脉冲数，就可以计算出对应的位置值。对位置的测量，关键是对旋转编码器发出的脉冲进行计数，若整个系统采用 PLC 进行控制，对编码器脉冲的计数也需要经过 PLC 的输入端口来接收，如果利用普通计数器，计数频率太低，会受到执行周期的影响，所以需要采用高速计数器进行计数，实现位置的采样。

在本例中增量型编码器主要完成主轴转动位置的检测，并以脉冲形式发送给 PLC，高速计数器对脉冲进行计数，当计数脉冲个数到达计数器的设定值时，主轴就转到了设定停车的位置，PLC 向变频器发出制动信号，实现制动准停。

3. PLC 与编码器

一般的 PLC 计数器的输入脉冲从通用输入点输入，其工作频率不仅与输入点的结构有关，而且还与程序的扫描周期有关；响应延迟现象严重，若采用一般计数器，则其计数频率只能达到几赫兹。对于转速相对较高的组合机床动力头，不能满足要求。为解决高速脉冲下的计数问题，选用了高速计数器。高速计数器的计数频率与 PLC 的工作周期无关。FX2N 系列 PLC 最高计数频率可以达到

50kHz,能够满足高速计数要求,所以本例选择高速计数器,其使用方式与普通计数器的使用有所不同。

(1) 编码器与PLC的连接

编码器的输出形式有两种,其中一种输出是A、B两相的输出分别与PLC的专用高速计数输入端口X0、X1连接,旋转编码器输出A、B两相脉冲,相位差90°,旋转编码器正转时A相脉冲超前B相,反转时B相脉冲超前A相。根据旋转编码器的精度不同,主轴转动一周产生的脉冲数量就不同,从每转100~20000不等,精度高的编码器,每转产生的脉冲数量就多,反之就会少一些。

(2) PLC的高速计数器使用模式

FX2N型PLC的高速输入端口指定为X0~X7,高速计数器范围是C235~C254,并且根据处理高速计数的方法不同分为单相单输入、单相双输入和双相双输入三种模式。

1) 单相单输入模式只有一个脉冲输入端口,对应一个增/减计数器,增/减模式由对应的特殊辅助继电器状态确定,如X0端口对应C235高速计数器,增/减模式由M8235的状态决定,若M8235为ON,则增计数,反之则减计数。具体参考FX2N使用说明书。

2) 单相双输入模式连接两个输入端口,其中一个端口增计数,另一端口减计数,增、减状态自动变化时,对应特殊辅助继电器的状态,如计数器C248对应输入端口为X3、X4,当X3有脉冲来时,增计数,对应的辅助继电器M8248自动置为ON;当X4有脉冲时,减计数,M8248为OFF。

3) 双相双计数输入模式也连接两个输入继电器端口,主要针对编码器的使用,它是根据两输入端口的脉冲状态来决定采用增计数还是减计数,也称为用A-B相型高速计数。其中有C254,A相、B相对应的专用输入端口为X0和X1,当正转时,C254自动增计数;当反转时,C254自动减计数;是增计数还是减计数可以通过监控对应的特殊辅助继电器来确定,C254对应的辅助继电器是M8254,当M8254的值为ON时,增计数,编码器正转。这种方法在软件和硬件上实现起来都比较简单。

(3) 双相双输入高速计数器的使用要点

1) 确定高速计数模式及编码器连接正确。

2) 确定高速计数开始条件,高速计数条件为ON,计数开始,在计数过程中不能将计数条件断开,更不能以脉冲形式作为高速计数条件。具体计数脉冲由专用输入端口的脉冲提供,如C254的专用计数端口为X0、X1。

3) C254具有专用复位端口X2,当X2为ON时,C254中断复位,也可以利用RST命令复位。

4) 正、反转判断,可以根据对应的辅助继电器状态判断。

5) 当计数器的当前值达到设定值后,计数器触点动作,可以利用计数器触点

驱动输出继电器，但要受到执行周期的影响，如果要立即进行处理，则可以使用 FNC53 或 FNC54 功能指令，它是与扫描周期无关的中断处理。

13.2.1　PLC 的电路设计

1. PLC 的选择

PLC 选择主要考虑总的输入输出点数要能够容纳系统的输入输出元件的总数，并且输入和输出点数要能够分别满足要求，经过计算，总输入点数约为 28 点，输出点数约为 20 点，所以选择总点数为 64 的 PLC。另外，需要考虑相应特性，在高速输入的编码器作用下，要准确制动，需要高速输出，选择晶体管输出形式的 PLC 比继电器输出形式的 PLC 具有更好的响应特性，所以选择 FX2N—64MT。

2. 端口分配

结合组合机床的液压系统控制、变频器控制和编码器控制以及前面的继电器—接触器控制情况，确定输入输出元件，将端口按表 13-3 和表 13-4 进行分配。

表 13-3　电气元件符号与逻辑元件对应表

电气元件	逻辑元件	名称及用途	电气元件	逻辑元件	名称及用途
编码器	X0	需要连接两个高速输入端口	SQ5	X23	工件放下用行程开关
	X1		SQ6	X24	工件松开用行程开关
SB1	X2	液压泵电动机停止按钮	SQ7	X25	主轴定位用行程开关
SB2	X3	液压泵电动机起动按钮	SQ8	X26	主轴定位到位用接近开关
SB3	X4	液压滑台前进按钮	SQ9	X27	伸缩销上伸到位行程开关
SB4	X5	液压滑台后退按钮	SQ10	X30	伸缩销下降到位行程开关
SB5	X6	抬起工件按钮	KP2	X31	压力继电器
SB6	X7	放下工件按钮	KP3	X32	压力继电器
SB7	X10	工件夹紧按钮	KM1	Y0	液压泵电动机起动接触器
SB8	X11	工件松开按钮	KM2	Y1	镗削头起动接触器
SB9	X12	主轴起动	KA1	Y3	控制 YA1
SB10	X13	主轴停止	KA2	Y4	控制 YA2
SB11	X14	变频器通电	KA3	Y5	控制 YA3
SA1	X15	滑台手动、自动转换	KA4	Y6	控制 YA4
SA3	X16	滑台摘除选择开关	KA5	Y7	控制 YA5
SQ1	X17	滑台原点行程开关	KA6	Y10	控制 YA6
SQ2	X20	滑台快进终点行程开关	KA7	Y11	控制 YA7
SQ3	X21	滑台工进终点行程开关	KA8	Y12	控制 YA8
SQ4	X22	工件抬起用行程开关	—	—	—

表 13-4 PLC与变频器的连接表

PLC端口	Y4	Y5	Y6	Y7	Y10	X33
变频器	FWD	X0	X1	DCBRK	JOG	FAR
作用	正转	高速	低速	制动	点动	频率到达

3. 电路设计

根据变频器的端口作用和使用特点，PLC与变频器、编码器的连接要求，液压电磁换向阀的电磁铁的电气特性等因素，设计而得的PLC控制系统的电气原理图如图13-8所示。

13.2.2 PLC控制程序设计与说明

根据精镗孔组合机床的控制要求，结合变频器、编码器的控制需要，设计得到PLC的控制程序，如图13-9所示。

1. 主电路设计

电动机主要包括液压泵电动机M1、镗削头电动机M2，电动机M2的速度变化与制动准停由变频器完成，取消定位电动机，并且电动机M2不需要反接制动。电动机M1的起停由按钮SB1和SB2完成，逻辑回路简单。

电动机M2的正转、高速、低速、制动信号输入分别由PLC的Y4、Y5、Y6、Y7控制。定位机构取消，主轴速度的变化过程完全由PLC的程序控制变频器的FWD、X0、X1、X4端口来完成。主电动机的工作分为自动工作和调整工作两种状态。自动工作主要完成自动加工循环的速度变化控制；调整工作主要实现安装过程、维修过程中的刀具准停位置的调整，保证编码器反映的主轴位置与计数器的设定值对应。

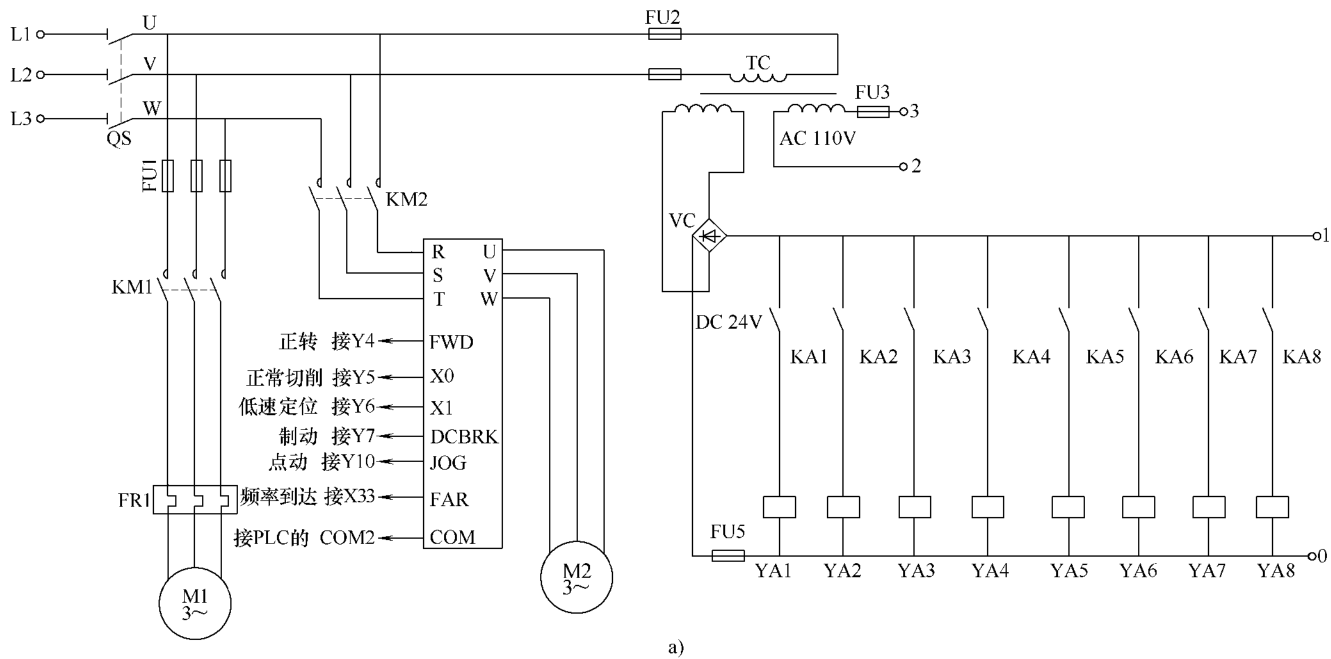
2. 控制过程设计

控制过程分为自动循环控制和调整控制两个方面的内容。自动工作过程的控制流程如图13-3所示，但具体控制将有所不同。

（1）自动工作循环控制

转换开关SA3闭合，输入继电器X16为ON，SA1置于位置2，输入继电器X15为ON，控制系统处于自动工作循环状态。其工作控制过程如下：

1）工件抬起。液压滑台处于原位，行程开关SQ1被压下，输入继电器X17为ON；主轴处于停止和定位状态，刀尖向上，行程开关SQ8被压下，输入继电器X26为ON，按下起动按钮SB5，X6为ON，使输出继电器Y21逻辑回路接通，Y21驱动负载中间继电器KA6线圈得电并自锁，KA6的常开触点闭合，接通电磁铁YA6线圈电路，电磁换向阀YV4处于左位，工件抬起液压缸向上运动，抬起工件，实现让刀。

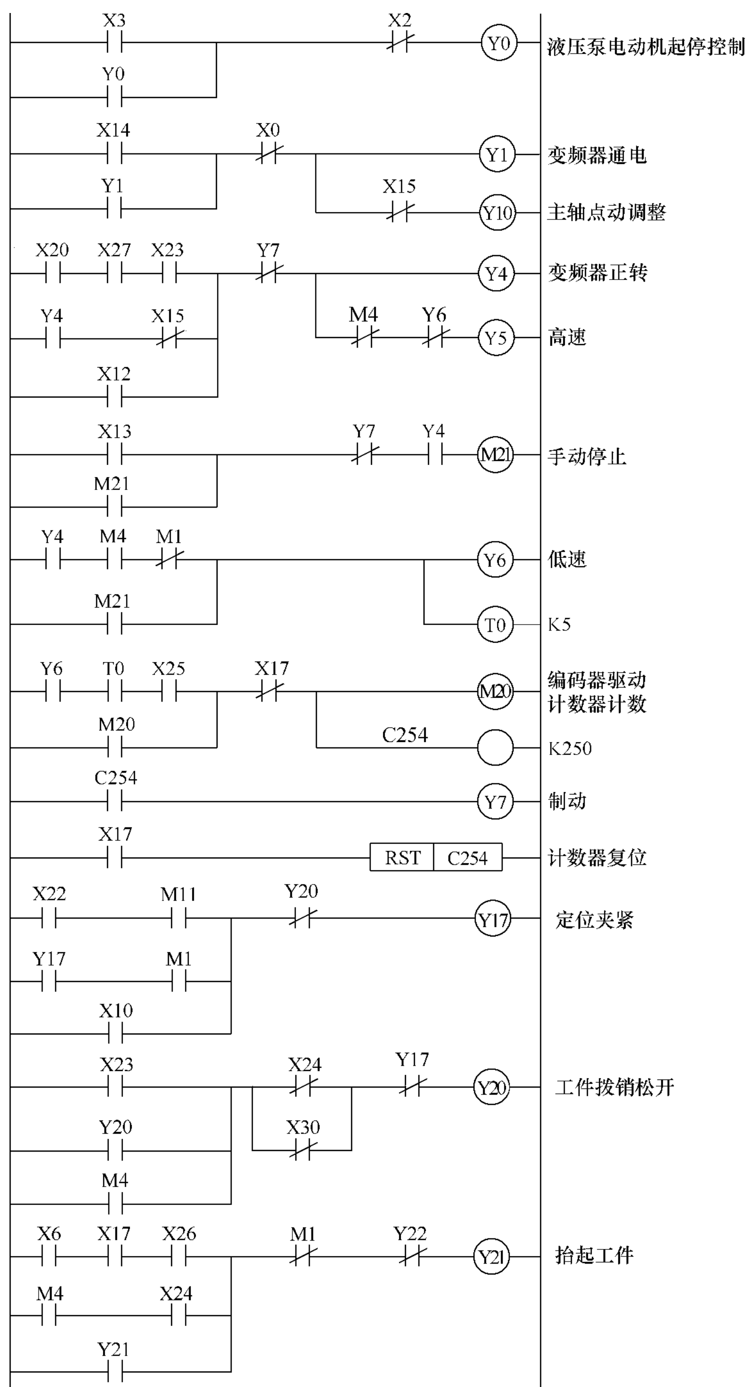


a)

图13-8 PLC控制系统的电气原理图

b)

图 13-8　PLC 控制系统的电气原理图(续)



a)

图 13-9　PLC 控制梯形图

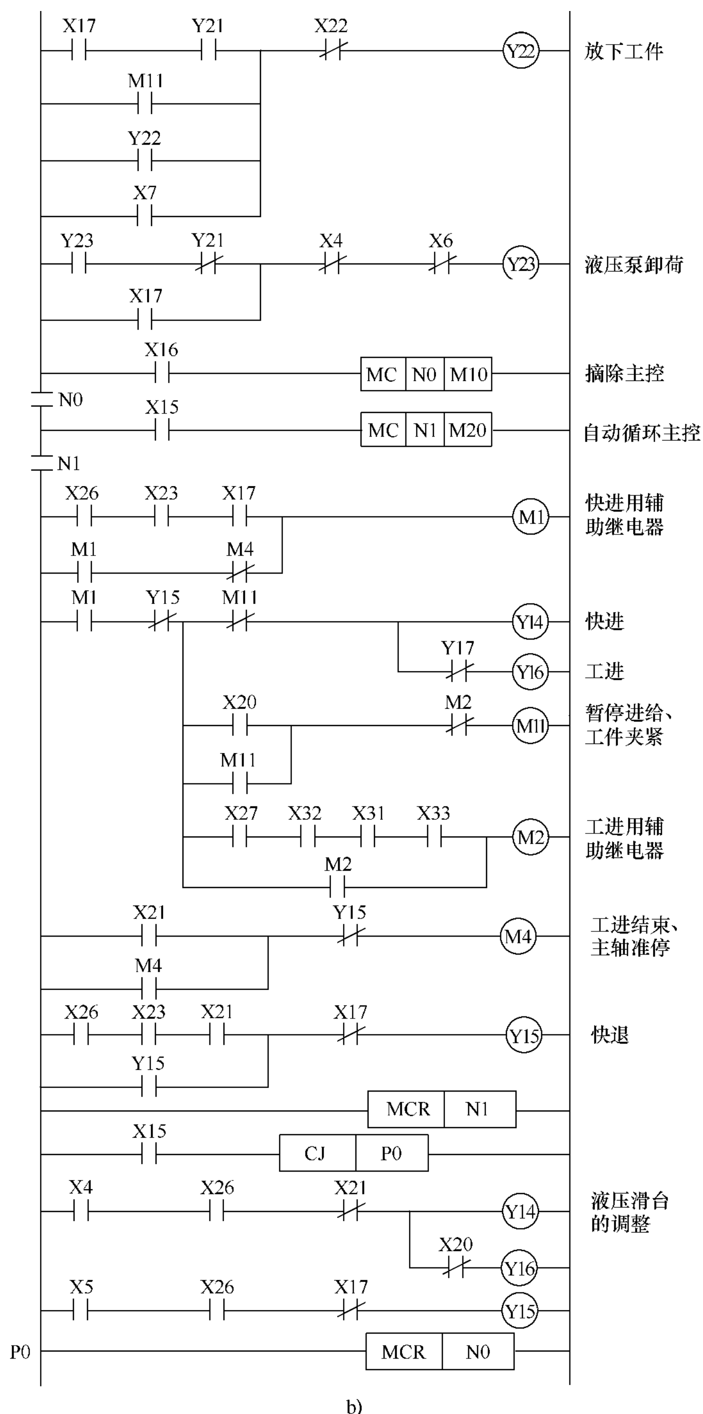


图13-9 PLC控制梯形图(续)

2）滑台快进。工件抬起到位后，压下行程开关 SQ5，输入继电器 X23 为 ON，此时刀尖处于定位状态，SQ8 被压下，X26 为 ON，辅助继电器 M1 线圈的逻辑回路导通并自锁，驱动输出继电器 Y14 和 Y16 线圈的逻辑回路导通，中间继电器 KA1 和 KA3 负载线圈得电，其常开触点闭合，使电磁铁 YA1、YA3 线圈电路接通，电磁换向阀 YV1、YV2 处于左位，压力油驱动液压滑台快进，刀具刀尖向上，偏心通过工件孔。

3）工件放下。当滑台带动刀具前进到距离工件孔端面一定距离后，压下行程开关 SQ2，输入继电器 X20 为 ON，辅助继电器 M11 线圈逻辑回路导通并自锁，设置 M11 表示一个暂停进给的状态，以便控制程序的逻辑关系更加清楚。M11 的常开触点为 ON，常闭触点为 OFF，所以其常闭触点切断输出继电器 Y14 和 Y16 的线圈逻辑回路，使 KA1 和 KA3 线圈负载回路断电，其常开触点断开，YA1 和 YA3 电磁铁断电，快进液压回路切断，不能前进；另外，M11 的常开触点接通输出继电器 Y22 线圈的逻辑回路，负载 KA7 线圈回路接通，常开触点闭合，驱动电磁铁 YA7 线圈得电，电磁阀 YV4 的阀心处于右位，工件抬起液压缸活塞下移，将工件放下。

4）工件定位。当工件放下后，压下行程开关 SQ4，输入继电器 X22 为 ON，X22 和 M11 同时为 ON，使输出继电器 Y17 逻辑回路导通并自锁，驱动外部负载中间继电器 KA4 线圈电路闭合得电，常开触点闭合，使电磁铁 YA4 线圈得电，电磁换向阀处于右位，定位液压缸带动伸缩销先向上运动，插入到销孔中实现定位。定位到位后，行程开关 SQ9 被压下，输入继电器 X27 为 ON，同时压力增加，通过顺序阀的作用，工件夹紧延后动作。工件处于定位状态 Y17 得电。

5）工件夹紧。当工件定位后，夹紧液压缸动作，带动夹紧机构运动，夹紧工件。夹紧液压缸上腔压力逐步增加，当压力增大到压力继电器的整定值时，表示工件夹紧，压力继电器 KP2 的触点闭合；另外，抬起缸放下工件后需要压紧，否则加工过程中，工件会振动。抬起缸向下压紧，压力继电器 KP3 的触点也闭合，使得输入继电器 X31、X32 为 ON，为滑台工进做好了准备。

6）刀具转动进给。当工件放下、定位完毕时，主轴就可以转动。行程开关 SQ2、SQ5、SQ9 被压下，对应的输入继电器 X20、X23、X27 值为 ON，输出继电器 Y4 得电并自锁，将变频器 FWD 端口短接，输出继电器 Y5 得电并自锁，将变频器 X0 端口短接，电动机 M2 起动，经过一定的加速时间，转速升高到高速状态，此时变频器的输出端口 FAR 输出一个频率到达信号，使 X33 为 ON，这时液压滑台才能带动镗削头工进，进行切削加工。

7）进给加工。当工件定位夹紧后，输入继电器 X27、X31、X32 为 ON，且主轴

转动到正常切削速度时，将接通辅助继电器 M2 线圈的逻辑回路并自锁，M2 的常闭触点断开，使辅助继电器 M11 断电，输出继电器 Y14 逻辑回路接通，KA1 和 YA1 线圈得电；由于此时工件处于定位状态，Y17 为 ON，其常闭触点为 OFF，所以使输出继电器 Y16 不能得电。液压系统驱动滑台工进加工。

当工件加工完毕，滑台压下行程开关 SQ3，输入继电器 X21 为 ON，辅助继电器 M4 线圈得电并自锁，转入刀具准停过程。

8）刀具准停。辅助继电器 M4 的常开触点为 ON，此时 Y4 的常开触点也为 ON，输出继电器 Y6 逻辑回路导通，Y6 为 ON，输出继电器 Y5 断开，于是变频器高速信号端口 X0 断开，低速端口 X1 短接，定时器 T0 开始计时，定时器设定时间与减速设定时间基本相当。变频器的频率由高向低减速，当减速到设定频率，定时器定时时间到，并且当主轴转到计数器计数的初始位置 SQ7（对应 X25），就开始起动计数器 C254。此时，M20 得电并自锁，C254 逻辑回路为 ON，编码器的连接分别将 A、B 相与 PLC 的 X0、X1 连接，且 C254 是两相两输入计数模式，所以当主轴正转时，C254 按照加法根据编码器的输入脉冲计数，主轴低速转动，计数脉冲数量不断增加，当主轴转到准停位置时，计数脉冲数量基本达到计数器的设定值，此时 C254 的触点动作，驱动输出继电器 Y7 的逻辑回路接通，短接变频器的制动端口 DCBRK，变频器实施制动准停。准停到位时，行程开关 SQ8 被压下，输入继电器 X26 为 ON。只有在 SQ8 被压下时，刀具才能后退。

9）工件松开。辅助继电器 M4 得电，其常闭触点为 ON，使输出继电器 Y20 的逻辑回路接通并自锁，中间继电器 KA5 线圈得电，驱动电磁铁 YA5 得电；同时使输出继电器 Y17 逻辑回路断开，中间继电器 KA4 线圈断电，驱动电磁铁 YA4 断电，电磁换向阀 YV3 处于右位，伸缩销液压缸带动销下移，夹紧液压缸松开夹紧机构。

当伸缩销缸下移到位后，行程开关 SQ10 被压下，输入继电器 X30 为 ON；夹紧液压缸松开到位后 SQ6 被压下，输入继电器 X24 为 ON，X30 和 X24 的常闭触点为 OFF，此时输出继电器 Y20 的逻辑回路断开，中间继电器 KA5 电路断开，电磁铁 YA5 断电，伸缩销下移结束。

10）工件抬起。当 SQ6 被压下，其常开触点闭合后，输入继电器 X24 为 ON，由于辅助继电器 M4 仍然得电，驱动输出继电器 Y21 线圈逻辑回路导通并自锁，驱动其负载 KA6 线圈得电，电磁铁 YA6 得电，抬起液压缸向上将工件抬起。

11）刀具快退。抬起工件到位后，将行程开关 SQ5 压下，输入继电器 X23 为 ON；由于此时刀具处于定位状态，SQ8 常开触点闭合，输入继电器 X26 为 ON，所

以接通输出继电器 Y15 的逻辑回路，Y15 的常闭触点为 OFF，切断辅助继电器 M4 的逻辑回路。Y15 驱动负载 KA2 的线圈得电，KA2 的常开触点驱动电磁铁 YA2 得电，电磁换向阀 YV1 处于右位，进给液压缸带动液压滑台快退。快退到原位后，SQ1 被压下，X17 为 ON，其常闭触点为 OFF，Y15 逻辑回路断开，YA2 断电，主轴和滑台停止后退。

12）工件放下。最后按下停止按钮 SB6 ，输入继电器 X7 为 ON，输出继电器 Y22 的逻辑回路导通，负载中间继电器 KA7 线圈电路得电，常开触点闭合，电磁铁 YA7 得电，抬起液压缸将工件放下，当放到指定位置后，SQ4 被压下，X22 为 ON，经过取反后，常闭触点为 OFF，Y22 逻辑回路断开，YA7 断电，加工结束。

（2）调整控制

在突然断电、维修、安装调试等状况下，需要对刀具的转角位置、进给装置、定位夹紧部分进行调整，所以需要必要的调整控制模式。

1）主轴的定位调整。主轴的定位调整分为两个内容：一是调整计数器 C254 的设定值，使得准停后，刀尖正好朝上，并且压下行程开关 SQ8；二是满足每次停止时刀尖必须朝上。为了解决此问题，采用了两个方面的措施，对于调整 C254 的设定值，可以通过利用变频器的点动调整功能完成；对于富士变频器，点动调整的方法是先接通点动调整端口 JOG，使之与 COM 之间短接，然后点动 FWD-COM 开关，来实现点动调整。

对于停止时必须使刀尖朝上的解决思路是，每次按下主轴停止按钮，应该先从高速降低到低速，再开启编码器，计数确定停止位置，到达位置时，制动停止。具体控制电路如下：

① 点动调整主轴。将 SA1 断开，输入继电器 X15 为 OFF，其常闭触点为 ON。当按下按钮 SB11 时，输入继电器 X14 为 ON，输出继电器 Y1 和 Y10 线圈得电并自锁，一方面接通变频器电源，同时也短接 JOG 端口，为点动调整做好准备；一方面按下按钮 SB9（对应的输入继电器 X12 为 ON），就能够点动输出继电器 Y4，实现主轴角度位置的调整。

② 停止过程控制。当按下按钮 SB9 后，输出继电器 Y5、Y4 得电并自锁，将变频器的 FWD 端口和 X0 端口短接，主轴转动，但是不能直接随意对主轴进行停止，那样会使主轴的停留位置比较混乱，不能准确停留在需要的位置，所以停止时，必须按下停止按钮 SB10，接通辅助继电器 M21 的逻辑回路，M21 驱动输出继电器 Y6 逻辑回路导通，先转换到低速运转，当主轴低速运转后，接通两相输入高速定时器 C254，根据编码器的脉冲进行计数和位置的判断，当主轴转动到指定位置后，C254 的触点驱动 Y7 的逻辑回路接通，实现主轴的制动准停。

2）滑台的调整。将SA1置断开位置处，输入继电器X15为OFF，主控指令N1部分不能执行，即自动工作循环不能执行，直接跳过，转而执行滑台调整部分程序。当按下按钮SB3，则输入继电器X4为ON，当主轴刀尖位置准确的情况下，SQ8压下，X26为ON，所以输出继电器Y14、Y16逻辑回路接通，但不能自锁，Y14、Y15驱动对应的中间继电器KA1和KA3线圈得电，电磁铁YA1和YA3接通，滑台点动快速前进，当前进到SQ2位置后，Y16断开，YA3断开，滑台以工进速度前进，到达SQ3位置后，不能再前进。

当滑台在中间某个位置时，按下按钮SB4，输入继电器X5为ON，且刀尖朝上时，输出继电器Y15逻辑回路接通，不能自锁，KA2得电，驱动电磁铁YA2得电，液压滑台点动后退，到达起点位置时，滑台停止。

3）定位夹紧和工件抬起调整。将转换开关SA3断开，输入继电器X16为OFF，主控指令N0控制部分程序不能执行，将滑台进给控制摘除，以便对定位夹紧和工件抬起控制进行单独的调整。当按下按钮SB7时，X10为ON，驱动输出继电器Y17逻辑回路导通，中间继电器KA4线圈电路得电并自锁，电磁铁YA4得电，液压回路能够先驱动定位缸运动，实现定位销向上运动；当定位缸运动到位后，油压升高，通过顺序阀，使夹紧液压缸运动，以实现工件夹紧。当按下按钮SB8时，X11为ON，驱动Y20逻辑回路接通，中间继电器KA5和电磁铁YA5得电并自锁，以实现定位缸的下移和夹紧液压缸的后退，松开工件。

当液压滑台在原位时，且刀具处于准停状态时，按下按钮SB5，X6为ON，驱动Y21的逻辑回路接通，则中间继电器KA6和电磁铁YA6得电，工件抬起缸工作，将工件抬起。按下按钮SB6时，则工件抬起缸下移，放下工件。

（3）卸荷控制

液压泵卸荷条件是滑台循环工作结束，停留在原位，且抬起缸没有工作。SQ1被压下，输入继电器X17为ON，使输出继电器Y21线圈逻辑回路断开为OFF，而使输出继电器Y23逻辑回路导通并自锁，驱动中间继电器KA8线圈得电，KA8的常开触点闭合，驱动电磁换向阀的电磁铁YA8得电，液压泵的压力油经过YV5直接流回油箱，实现卸荷。

当循环开始，按下按钮SB5，或者在进行机床前进调整时按下按钮SB3，对应的输入继电器X4和X6为ON，其常闭触点切断Y23逻辑回路，KA8和YA8线圈断电，停止卸荷。

3. 总结

1）采用变频器、编码器与PLC结合来实现镗削头的主轴定位。实现方法先进，结构简单，取消了低速电动机及相应机构。

2）高速计数器是解决编码器与 PLC 结合使用的一个重要知识，其计数方式和使用方法与普通计数不同，在编程时必须注意。

3）变频器的 X 端口和 Y 端口的正确理解是灵活使用变频器的关键。端口的功能以及参数设置需要利用变频器的功能代码，特别是富士变频器的 F、C、E 功能代码的合理设置。其中主要包括多段频率选择与设定，制动频率与制动时间的设定，加、减速时间的设定，点动运行设定等，需要仔细阅读变频器的说明书。

4）为了减小电磁铁对 PLC 输出端口的冲击，特别是对晶体管类型的输出端口。本例采用了中间继电器来进行过渡，一个中间继电器对应控制一个电磁铁。

5）在变频器连接时，端口的连接和分配有些不同，变频器端口连接部分不需要使用电源，所以应该单独占一个 PLC 的公共端的输出端口。本例使用了 5 个输出继电器控制变频器输入端口，占了两个公共端，共计 8 个端口。

参考文献

[1] 芮静康．实用机床电路图集[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999.

[2] 李响初,向凌云,余雄辉．实用机床电器控制线路 200 例[M]. 北京:中国电力出版社,2009.

[3] 海心,赵华．机电传动控制[M]. 北京：高等教育出版社,2007.

[4] 张海根．机电传动控制[M]. 北京:高等教育出版社,2001.

[5] 张万奎．机床电气控制技术[M]. 北京:中国林业出版社,2006.

机械工业出版社机电一体化类书目（部分）

书号	书名	作者	定价
17353	电工速查速算实用手册	赵家礼	56.00
26733	微机电系统应用	Mohamed Gad—el—Hak	108.00
26384	机电一体化导论	罗伯特 H.毕夏普	70.00
25512	光机电一体化系统常用机构	罗庆生	38.00
20277	光机电一体化系统典型实例	高学山	32.00
24255	机电一体化系统设计实例精解	高安邦	48.00
22163	机电一体化系统设计禁忌	高安邦	64.00
27878	电工技术（电工学Ⅰ）第4版	高福华	28.00
01702	电子技术（电工学Ⅱ）第4版	罗会昌	26.00
23757	模拟电子技术 第2版	李燕民	32.00
06018	数字电子技术 第2版	梁 森	25.00
25563	Protel Altium Designer6.x 入门与实用——电路设计实例指导教程	宋贤法	46.00
26686	LonWorks技术原理与应用	高安邦	45.00
26283	LonWorks技术开发和应用	高安邦	80.00
25415	遗传编程与机电系统创新设计	李少波	48.00
23267	新编机床电气与PLC控制技术	高安邦	43.00
25575	微电子机械系统力学性能及尺寸效应	刘 凯	30.00
11598	可编程控制器原理及其在液压系统中的应用	周恩涛	25.00
07215	闭路电视监控系统 第2版	杨 磊	39.01
04267	可编程控制器原理及应用（上册）第2版	汪晓光	22.00
32609	典型机床电气控制解析与PLC改造实例	朱朝宽 张勇	

ISBN 978-7-111-32609-0
策划编辑：周国萍
封面设计：路恩中

上架指导：工业技术／自动化技术／PLC

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者购书热线：(010)88379203
邮政编码：100037
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版



定价：36.00元